



TITLE:

# 水稻の冷害に関する作物学的研究(Dissertation\_全文)

AUTHOR(S):

天野, 高久

---

CITATION:

天野, 高久. 水稻の冷害に関する作物学的研究. 京都大学, 1983, 農学博士

ISSUE DATE:

1983-07-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.r5067>

RIGHT:

1983
874

京大附図

# 水稻の冷害に関する作物学的研究

1 9 8 3

天 野 高 久

## 目 次

緒 言	-----	1
第 1 編	苗の葉齡と活着期の冷温によ	
	る出穂遅延との関係-----	7
第 1 章	苗の葉齡の相違が出穂期に	
	及ぼす影響-----	8
第 1 節	活着期がとくに冷温年に	
	おける場合-----	8
第 2 節	活着期が冷水地温条件下	
	における場合-----	14
第 3 節	晩植条件下における場合-----	20
第 4 節	小括-----	28
第 2 章	育苗期における葉齡の促進	
	方法の検討-----	30
第 1 節	育苗様式が苗の葉齡に及	
	ぼす影響-----	31
第 2 節	出芽条件が苗の出葉速度	
	に及ぼす影響-----	40
第 3 節	小括-----	49

第2編	窒素ならびに堆肥施用と穂孕	
	期の冷温による不稔との関係	----- 52
第1章	圃場における穂孕期冷温処	
	理方法の検討	----- 54
第1節	穂を含む葉鞘部を冷却す	
	る方法	----- 55
第2節	冷水を灌漑する方法	----- 60
第3節	小括	----- 67
第2章	穂孕期の冷温による不稔を	
	軽減・防止する稲体の窒素	
	条件について	----- 69
第1節	葉身限界窒素含有率	----- 69
第2節	葉身窒素含有率と葉色と	
	の関係	----- 82
第3節	耐冷栽培における葉色の	
	推移	----- 96
第4節	小括	----- 105
第3章	穂孕期の冷温による不稔に	
	対する堆肥施用の効果	----- 107
第1節	稔歩合に対する効果	----- 108



第 2 節	異常薬の発生に対する効果	116
第 3 節	穂孕期の根と地上部の生育に対する効果	122
第 4 節	根の形態・機能と稔実歩合との関係	132
第 5 節	収量に対する効果	140
第 6 節	小括	143
第 3 編	総括および結論	146
引用文献		154

## 緒 言

稲作における諸作業の中で最後まで機械化を拒んでいた移植についても田植機の実用化によってようやく省力化が実現され、待望久しかった水田の機械化一貫作業体系が成立することになった。しかし、こうした栽培技術の省力化は近年における米の生産調整、兼業化に伴う労力不足などを契機としてひたすら進められてきたものだけに、冷害対策の基幹となしてきた諸技術にもたらされる大きな変革などは最近に至るまでほとんど顧慮されることはなかった<sup>18, 75, 89, 90, 96)</sup>。すなわち、熟苗栽培法<sup>66)</sup>、堆肥施用による地力培養、窒素の適正施用などはいずれも、耐冷性品種の作付けとともに耐冷性強化技術の主体をなすものであったが<sup>74, 96)</sup>、省力化の進展とともに熟苗栽培法は厚播、短期育苗の稚苗移植栽培に変わり、また、堆肥施用は、その生産・施用が機械化を受け入れにくいという事情もあって、ほとんどが姿を消し、わらの焼却・窒素多施、生

わらの施用などが卓越するようになった。とりわけ、ここ十<sup>27)</sup>数年間における堆肥施用量の著しい減少は、稚苗移植栽培や除草剤の大量使用などとともに最近の省力稲作を象徴するものである。北海道において窒素の施用量が近年増加しつつあること、しかも、それが基肥の増加によってもたらされていること<sup>67)</sup>が最近のアンケート調査に示されている。このことはもちろん、施肥の省力化や耐肥性品種の普及などに関連しているに相違ないが、同時に堆肥施用量の減少による地力窒素の低下や生わらの施用による生育初期の窒素吸収力の低下などとも深くかかわっていると考えられる。

こうした栽培技術の省力化は究極的に耐冷性の低下を招くことは容易に想像<sup>注)</sup>される。しかし、苗の生育の相違が冷温による出穂遅延（遅延型冷害）にどのように影響するのか、また、窒素をどの程度多施すれば幼穂形成期～開花期の冷温による不穂発現（障害型冷害）が、

著しく助長されるようになるかなどの技術改善に直接かかわる問題についてはいまだ十分明らかでなく、また、それらの冷害に対する堆肥施用の効果についてもそれを明確に証明するデータがはなはだ乏しい。冷害対策の一環としての堆肥施用については今後もさらに研究を進め、その意義を明確にする必要があると考えられる。

冷害は生育の各段階<sup>30, 54)</sup>においていろいろなかたちで現われるが、それらの中で活着期

注1) 作物に冷害をもたらす温度は、果樹などに凍害をもたらす氷点下の温度を含めて一般的には“低温”とよばれている。しかし、“低温”といっても氷点を境として障害<sup>54, 56)</sup>の機構に大きな違いがあることから、西山<sup>54)</sup>は氷点より上の低温については別の術語“冷温”(Cool or Cool temperature)を用いることを提唱している。水稻の冷害は“冷温”による被害の意味であり、本論文においてもこの言葉を用いることにする。

冷温による出穂遅延と穂孕期冷温による不稔の発生は北海道において最も関心が高くかつ深刻な問題である。

本論文はこれら二つの時期の冷害に対する技術改善の方策を上述の稲作の省力化に関連させて論述しようとしたものである。すなわち、第1編では活着期冷温による出穂遅延と機械移植の普及にともなう育苗法の変化に関連づけ、第2編では穂孕期冷温による不稔発現を窒素多施、堆肥施用量の減少に関連させて検討した。

本研究は1969年から1982年まで北海道立上川農業試験場において行ったものである。1969年から1972年までは前北海道立上川農業試験場水稻栽培科長砂田喜与志氏（現北海道立十勝農業試験場豆類第1科長）、1973年から1982年までは現同科長森脇良三郎氏の御指導のもとに水稻栽培試験の一環として行ったものである。その間、元北海道立上川農業試験場長

島崎佳郎博士（現北海道拓殖短期大学教授）、  
前同場長森哲郎氏、現同場長長内俊一博士か  
らは終始暖かい激励と試験遂行上の御配慮を  
頂いた。また、北海道農業試験場稲第3研究  
室長佐竹徹夫博士、同主任研究官西山岩男博  
士（現農業研究センター稲栽培第1研究室長）  
には本研究開始当初より御指導と御鞭撻を頂  
き、神戸大学教授丹下宗俊博士、佐賀大学教  
授田中典幸博士からはとくに第2編第3章の研  
究に対して貴重な御意見、御示唆を賜った。  
さらに、京都大学教授栗原浩博士、同助教授  
森脇勉博士には筆者が1982年12月より1983年  
3月まで京都大学農学部にて国内研修中御厚誼、  
御指導を賜わるとともに本論文の御校閲の労  
をとって頂いた。以上の各氏に対して衷心よ  
り謝意を表する次第である。

また、本研究の遂行に当たり常に論議の機  
会を与えて頂き、御協力を惜しまれなかつた  
北海道立上川農業試験場水稻栽培科小川勉氏、  
同谷川晃一氏、同相川宗敬氏、前同和田順行

氏、元同竹川昌和氏（現北海道立中央農業試験場）、北海道農業試験場稲第2研究室森田弘彦氏、北海道立中央農業試験場山崎信弘氏、北海道専門技術員小林荘司氏、北海道士別地区農業改良普及所吉田典彦氏に対して厚くお礼申し上げます。

最後に本研究への契機を与えて頂くとともに御教示、激励を賜った京都大学名誉教授長谷川浩博士（現近畿大学教授）に対して感謝の意を捧げたい。

## 第1編 苗の葉齡と活着期の冷温による出穂 遅延との関係

遅延型冷害は登熟期の冷温によっておこる場合もあるが、出穂までの生育各期の冷温による出穂遅延の結果としておこる場合が多い。冷温によって出穂が著しく遅延する時期として、活着期から分けつ開始期頃まで、幼穂分化期<sup>24)</sup>前後および出穂期直前があげられているが、これら三時期のうち、活着期から分けつ開始期頃までの期間は苗の健否を通して出穂期に大きく影響する点でとくに注目される。本編では、まず、第1章で、育苗法の相違によって活着期冷温による出穂遅延がどのように変化するかを明らかにし、第2章では第1章で得られた知見をもとに密播条件下における育苗管理技術について検討した。



## 第1章 苗の葉齡の相違が出穂期に及ぼす影響

水稻品種の出穂性に関する生態的な研究は  
8, 19, 39, 69, 95, 98, 100, 101)  
 これまで数多く行われているが、  
 苗の生育と出穂との関係を研究したものは少  
20, 34, 44)  
 ない。水稻の移植栽培に用いられる苗  
注2)  
 は機械移植栽培に広く利用される2葉前後  
 の稚苗から、かつての熟苗栽培法における5  
 葉前後のものまで様々であり、同一年次、品  
 種でも出穂期にかなりの変異を生じ、品種間  
 以上に、出穂期が異なることがある。そこで、  
 本章では主として葉齡の相違に着目して出穂  
 期の活着期温度反応を究明しようとした。

### 第1節 活着期がとくに冷温年における場合

活着期の温度条件が著しく異なる1969年と

---

注2) 本論文では不完全葉を除く。

1970 年における出穂期の比較から、出穂期の  
活着期温度反応を検討した。

### 材料および方法

1969 年および 1970 年にしおかりを供試し、  
第 1 表に示したように育苗様式、播種密度、  
育苗日数、施肥量などを変えて葉齢の異なる

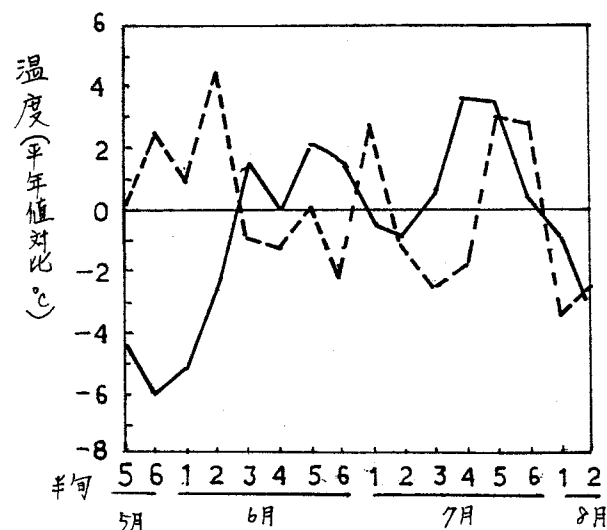
第 1 表 育苗方法

年次	育苗様式	区別	播種量 (cc/m <sup>2</sup> )	育苗日数 (日)	基 肥 量 (g/m <sup>2</sup> )			追肥量 (g/m <sup>2</sup> )	備考
					N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
1969	畑苗代育苗	1	330	30	30.0	30.0	20.0	15.0	成苗
		2	220	45	30.0	30.0	30.0	18.0	熟苗
	紙筒育苗	3	660	20	18.3	18.3	22.7	0	●
		4	660	27	18.3	18.3	22.7	5.5	●
		5	660	34	18.3	18.3	22.7	11.0	●
		6	660	34	18.3	18.3	22.7	11.0	○
		7	440	27	18.3	18.3	22.7	5.5	■
		8	440	34	18.3	18.3	22.7	11.0	■
		9	440	34	18.3	18.3	22.7	11.0	□
	箱育苗	10	2000	20	0	5.5	5.5	5.5	ひも苗
		11	1700	27	0	5.5	5.5	11.0	ひも苗
		12	1400	34	0	5.5	5.5	16.5	ひも苗
		13	2000	20	0	5.5	5.5	5.5	マット苗
1970	畑苗代育苗	1	330	30	30.0	30.0	20.0	15.0	成苗
		2	220	42	30.0	30.0	20.0	18.0	熟苗
	紙筒育苗	3	440	30	18.3	18.3	22.7	5.5	●
		4	290	30	18.3	18.3	22.7	5.5	■
		5	440	30	18.3	18.3	22.7	5.5	○
		6	290	30	18.3	18.3	22.7	5.5	□
		7	440	42	18.3	18.3	22.7	11.0	●
		8	290	42	18.3	18.3	22.7	11.0	■
		9	440	42	18.3	18.3	22.7	11.0	○
		10	290	42	18.3	18.3	22.7	11.0	□
	箱育苗	11	2000	20	0	5.5	5.5	5.5	マット苗
		12	1000	20	0	5.5	5.5	5.5	ひも苗
		13	2000	20	0	5.5	5.5	5.5	ひも苗
		14	1000	30	0	5.5	5.5	11.0	ひも苗
		15	2000	30	0	5.5	5.5	11.0	ひも苗

● 1.5cm x 1.5cm 角、根止め底有  
■ 2.0cm x 2.0cm 角、根止め底有

○ 1.5cm x 1.5cm 角、根止め底無  
□ 2.0cm x 2.0cm 角、根止め底無

13～15種類の苗を養成した。それらの苗を上川農業試験場圃場に両年とも同一日に移植して、移植後の主稈出葉数、平均出葉速度ならびに出穂期を調査した。なお、出穂期は各区全茎の50～60%が出穂した日とし、観察によって判定した。1区2反復、栽植密度は1株3本、 $m^2$ 当たり25株、施肥は窒素、磷酸、加里をそれぞれ10a当たり8, 8, 6kgずつ全量基肥とした。両年の気温は第1図に示す通りである。すなわち、1969年は5月下旬から6月上旬にかけて平年値を著しく下まわり、活着が著しく停滞したのに対し、1970年はこ



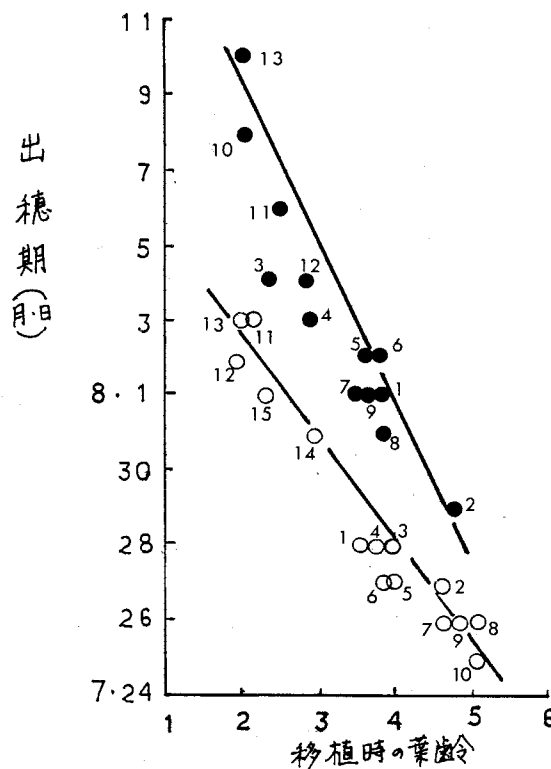
第1図 半月別平均気温

注) ——— 1969      - - - - - 1970

の期間が平年より高めに経過し、活着は良好であった。その他の時期については年次間に大差は認められなかった。

## 結 果

第2図に移植時の葉齢と出穂期との関係を示した。両者の間には密接な負の相関が認められ、葉齢の低い苗ほど出穂期は遅延した。また、葉齢にかかわらず1969年の出穂期は

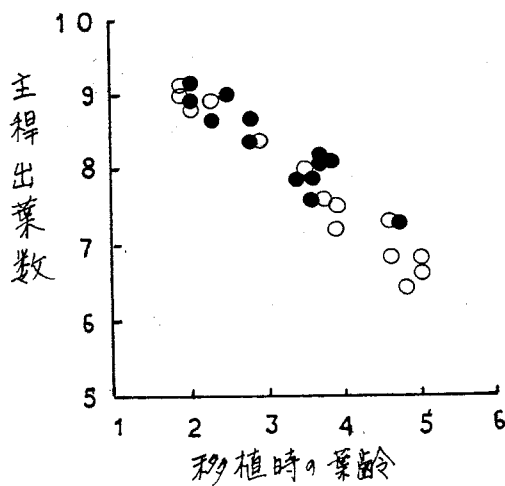


第2図 移植時の葉齢と出穂期との関係

注) —●— 1969 —○— 1970

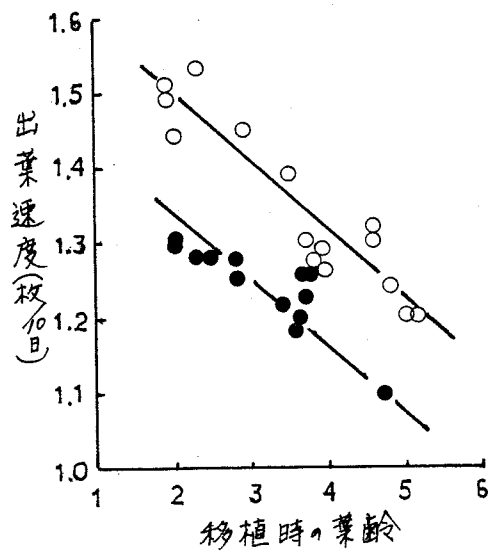
図中の数字は第1表の区番号を示す。

1970年にくらべて遅延したが、出穂遅延度は葉齢の低い苗ほど大きかった。第3図および第4図に移植後の主稈出葉数ならびに出葉速度を示した。兩年とも葉齢の低い苗ほど主稈出葉数は増加する傾向が認められたが、年次間差はほとんど認められなかった。出葉速度は兩年とも葉齢の低い苗ほど促進されたが、1969年は1970年に比べて明らかに小さかった。兩年の回帰直線は出穂期の場合と異なり、ほぼ平行であった。



第3図 移植時の葉齢と移植後主稈出葉数との関係

注) ● 1969 ○ 1970



第4図 移植時の葉齢と出葉速度との関係

注) —●— 1969 --○-- 1970

## 考 察

第1図に示した半旬別気温の比較から、1969年における出穂遅延は活着期冷温が主因であると考えられる。したがって、この兩年のデータにもとずいて出穂期の活着期温度反応を検討する。

出穂期は第2図に示したように年次にかかわらず葉齡の低い苗ほど遅延するが、活着期が冷温であった1969年における出穂遅延が葉齡の低い苗ほど助長されている点が注目される。葉齡の高低による出穂遅延度の相違と移植後の主稈出葉数と出葉速度の2因子に分けて検討してみると、主稈出葉数は第3図に示すように冷温の影響がほとんど認められないものの、葉齡の低い苗ほど多くなること、出葉速度は第4図に示すようにどの苗もほぼ同程度に冷温の影響を受け低下していることが指摘される。したがって、止葉出葉までの所要日数の年次間差異は移植後主稈出葉数が多くなる葉齡の低い苗程増幅されることになる。

葉齡の高低による出穂遅延度の相異には、これら2因子の他に穂揃性の影響も考慮されねばならないが、2因子によっておおむね説明される。

活着期冷温による出穂遅延を軽減するためには(1)出葉速度を促進する、(2)移植後の主稈出葉数を減少させる、のいずれかであるが、冷温条件下で出葉速度を促進させることは実際には困難であろう。これに対し、移植後主稈出葉数は苗の葉齡で相違が生ずるが、活着期冷温の影響をほとんど受けていない。したがって、機械移植栽培においてもできるだけ葉齡の進んだ苗を移植し、主稈出葉数を減少させることが必要であると考えられる。

## 第2節 活着期が冷水地温条件下における場合

前節では出穂期の活着期温度反応と活着期の気温が著しく異なる2カ年の調査結果にも

とずいて検討したが、活着期の温度が水箱に与える影響は主として水温を通してである<sup>13, 40, 86)</sup>

そこで、本節では活着期に精密に水地温処理を行い、その後は同一の環境条件において第1節の結果を確認するとともに、苗の種類と活着期の出葉との関係を明らかにしようとした。

#### 材料および方法

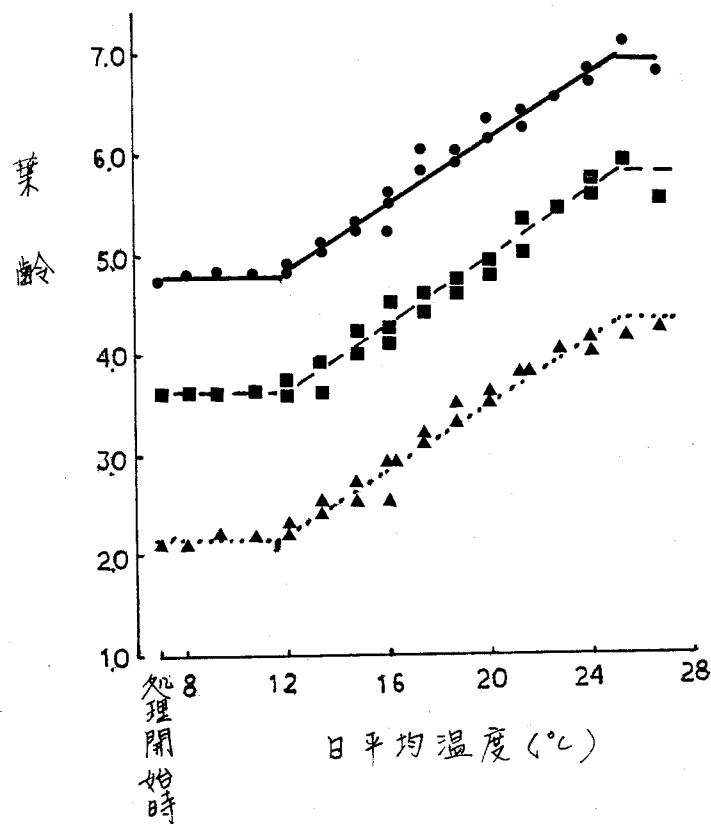
第1節に示した1969年の苗の中から畑苗代育苗における熟苗（葉齢47）、成苗（葉齢56）および箱育苗における稚苗（葉齢21）を供試した。窒素、磷酸、加里を10a当たり8, 8, 6kgずつ施用した苗代土壌を直径11cm、深さ15cmのブリキ製ポットにつめ、5月24日に3種類の苗を同一ポットに3個体ずつ移植した。水地温処理は人工気象室内に設置された恒温水槽を用いて行った。すなわち、昼（午前9時～午後5時）8, 12, 16, 20, 24, 28, 32℃の7段階、夜（午後5時～午前9時）8,



12, 16, 22, 24 °C の 5 段階に制御した恒温水槽を用意しておき毎日午前 9 時および午後 5 時にそれぞれ所定の水槽にポットを移動する要領で移植後 10 日間 25 組合せ区について水地温処理（夜温は常に昼温以下）を行った。なお、気温は各区とも昼 20 °C, 夜 12 °C とし、水深はポットの地表面から水槽の水面までの高さを調節し、約 3 cm とした。処理終了後直ちに 3 ~ 4 ポットについて苗の種類別に葉齢を調査した。また、昼夜 8 °C 区および昼 28 °C, 夜 20 °C 区については、3 種類の苗をそれぞれ 1 株 1 本植として 6 ~ 9 株ずつ、できるだけ根を傷めないようにして本田に移植し、出穂期を比較した。なお、出穂期は主稈の穂の抽出日を 6 ~ 9 株について調査し、平均値で示した。本田施肥は窒素, 磷酸, 加里を 10 a 当たり成分量で 8, 8, 6 kg ずつ全量基肥とした。

## 結 果

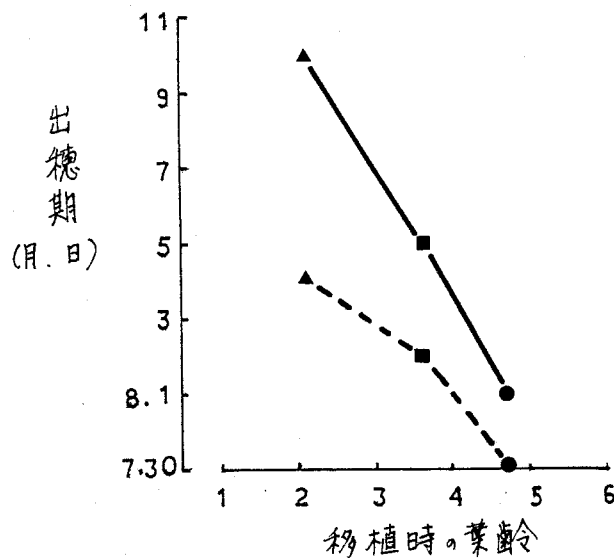
第5図に処理期間中の葉齡の変化を示した。葉齡は水地温の昼夜較差によっても多少影響を受けたが、日平均水地温と密接な関係が認められた。処理期間中の葉齡の増加パターンには、苗の種類による差は認められなかった。



第5図 移植後10日間の水地温とその昼夜較差が葉齡に及ぼす影響

注 —●— 熟苗    --■-- 成苗    ....▲.... 稚苗

つぎに、移植時の葉齢と出穂期との関係を第6図に示した。移植後10日間の水地温の高低にかかわらず出穂期は移植時葉齢の低い稚苗において最も遅延した。また、移植後10日間の冷水地温処理（昼夜8℃区）による出穂遅延は葉齢の低い苗ほど助長される傾向が認められた。



第6図 移植時の葉齢と出穂期との関係

注) ——— 昼夜8℃      - - - - - 昼28℃夜20℃

● 熟苗      ■ 成苗      ▲ 稚苗

## 考 察

活着期冷温による出穂遅延が葉齢の低い苗ほど助長されることは水地温処理実験におい

ても確認された。角田は<sup>97)</sup> 水稻農林17号の成苗を用いて生育時期別に水地温処理を行い、適水温による出穂促進効果は生育の初期ほど著しいことを明らかにし、とりわけ、活着期については水温上昇に対する配慮がきわめて重要であることを指摘している。稚苗移植栽培においては、おそらく、活着期の水温上昇効果はさらに顕著であろう。しかし、水田水温を人為的に上昇させることなどは実際には容易でないことから、稚苗移植栽培における出穂遅延対策を水温上昇のみに期待することは無理といわねばならない。

一方、木根淵<sup>98)</sup> は稚苗移植栽培の研究の中で、稚苗は胚乳養分が残存しているために低温条件下でも活着の停滞が少ないことを認め、この特性を稚苗移植栽培の出穂遅延対策の一つにあげている。しかし、移植後10日間の葉齡の変化をみると、葉齡増加の限界温度はどの苗も12℃前後であり、また、12℃以上の温度でもどの区においても稚苗の葉齡増加が他

の苗に比べて大きいという結果は得られていない。苗の相違による冷温活着性の差異については、苗の素質、冷温の条件などを含めて今後さらに検討されなければならないが、本実験の結果は、北海道における稚苗移植栽培の出穂遅延対策を稚苗の冷温活着性に求めることも困難であることを示唆している。

実際に活着期冷温による出穂遅延を軽減するためには、前節でも指摘したごとく、機械移植栽培といえども葉齢の進んだ苗を移植し、移植後の主稈出葉数を減らせることが必要であると考えられる。

### 第3節 晩植条件下における場合

ビニールハウスなどの保護苗代が普及した今日では、冷温によって播種期が遅延することはほとんどないが、移植期は冷温の影響を受けてしばしば遅延する。そこで、本節では、

移植期を遅らせることによって活着期冷温を回避した場合、苗によって出穂期がどのように変化するかを検討しようとした。

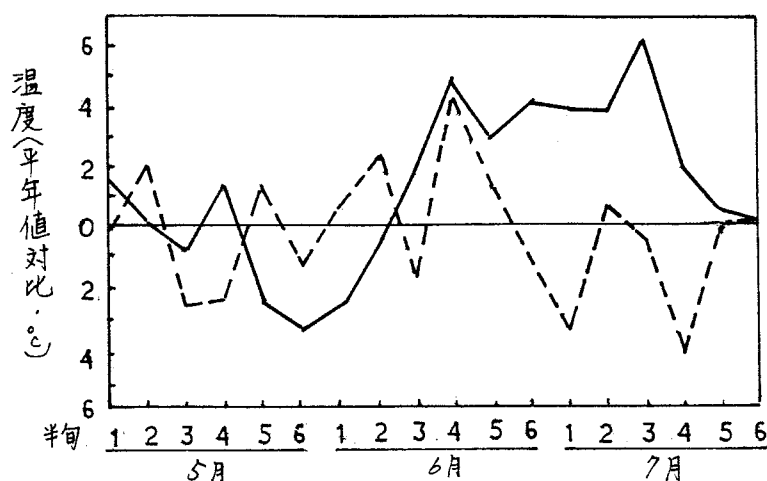
### 材料および方法

1978年、1979年の2カ年にわたって試験を行った。両年ともイシカリを供試した。1978年は、横30 cm、縦60 cm、深さ3 cmの育苗箱に箱当たり50 cc、200 ccおよび350 cc（以下単に50 cc、200 cc、350 ccと記す）の催芽籾を播種し、播種密度に関して3区を設けた。育苗期の施肥は、基肥として窒素、燐酸、加里を箱当たり成分量で1 gずつ、追肥として1、2、3葉期に窒素を箱当たり1 gずつとした。育苗はビニールハウス内で行った。各区とも、5月20日、5月30日、6月9日の3回にわたって移植した。1979年も、前年と同じ規格の育苗箱を用いて1箱当たり播種密度に関して50 cc、100 cc、150 cc、200 cc、350 ccの5区を設け、4月22日に播種した。育苗は前年と同じ方法

で行った。各区とも、5月22日を第1回目の移植日とし、5～8日間隔で次々に移植した。両年とも育苗期は1区3箱、本田は1区制(1区 $25\text{ m}^2$ )とした。栽植密度は $\text{m}^2$ 当たり25株、1株3本植えとし、施肥は窒素、燐酸、加里をそれぞれ10a当たり8, 8, 6kgずつ施用した。

苗の葉齢は移植日ごとに調査した。また、引き続き、苗代に残した苗についても数日おきに葉齢を調査した。1979年にはそのほかに葉面積を測定し、葉面積指数(LAI)を算出した。なお、葉面積の測定にあたっては、特に下位葉の測定において誤差を生じやすい自動葉面積計の使用を避け、葉身をゼロックスで複写して求める重量法によった。出穂期は第1節と同様、各区全茎の約50%が出穂した日によって判定した。

2カ年の気温は第7図に示す通りである。1978年は5月第5半旬から6月第1半旬にかけて平年を下まわる時期があったが、どの苗



第7図 半月別平均気温

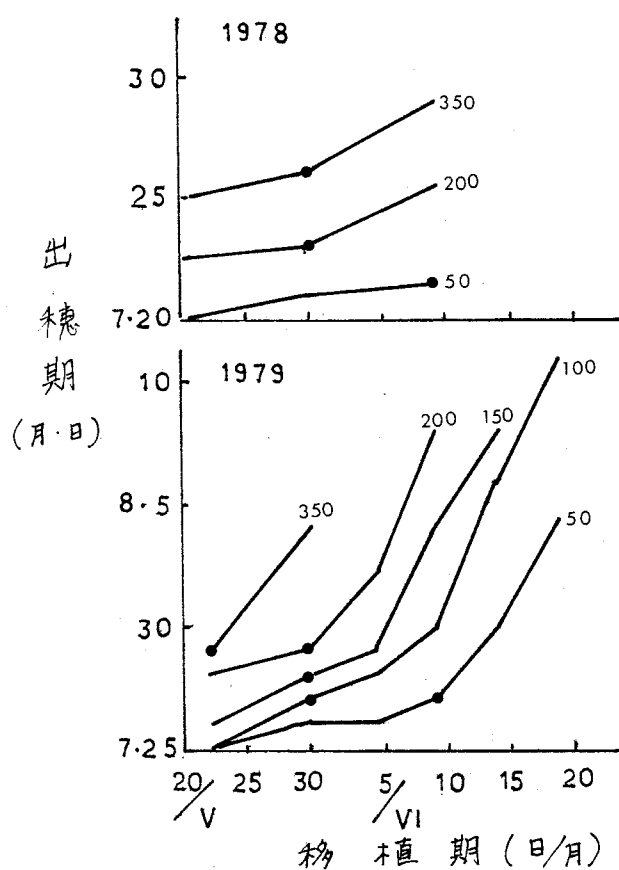
注 ——— 1978      - - - - - 1979

も活着の停滞はほとんどみられなかった。その後、平年よりも高く推移し、出穂は平年よりも促進された。1979年は移植期間の気温はほぼ平年なみであったが、7月第1半月（穎花分化期頃）および7月第4半月（穂孕期頃）の低温により出穂期は1978年よりも遅延した。

## 結 果

第8図に作期の移動が出穂に及ぼす影響を示した。播種密度にかかわらず移植期の遅れとともに出穂期は遅延し、また、その出穂遅延度は播種密度の高い程大きかったが、その傾





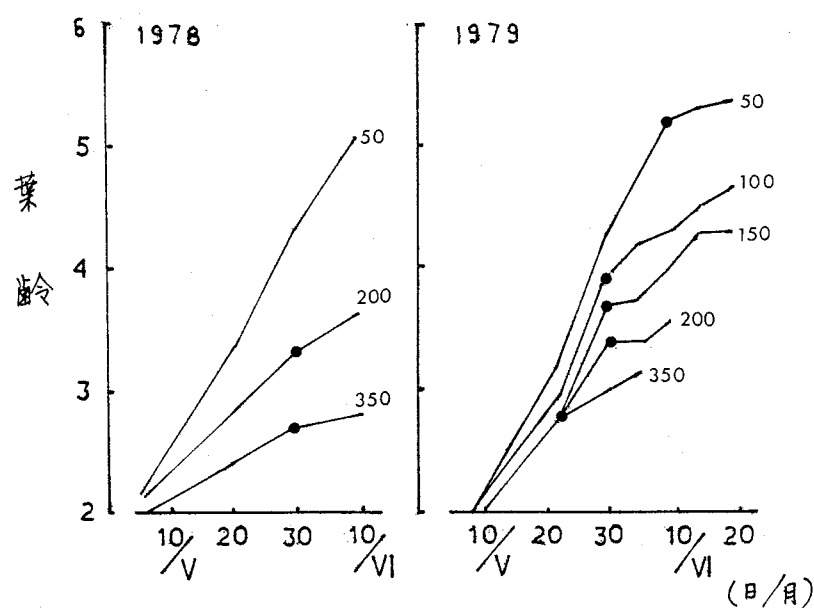
第8図 作期の移動が出穂に及ぼす影響

注) 図中の数字は播種量(cc/箱)

●: 限界移植期(最も早期に移植した区に比べて出穂期がほとんど遅延しない(2日以内)移植期の晩限)

向は出穂期が遅延した1979年においてより明瞭であった。最も早い時期に移植した区に比べて出穂期がほとんど遅延しない(2日以内とする)移植期の晩限(限界移植期)は、播種密度の高いほど早い時期に認められた。第

9 図に苗代期における各区の出葉経過を示した。出葉速度はどの区も初め早いですが、ある時期を境に急速に低下した。出葉速度が急速に低下し始める時期（出葉転換点）は播種密度の高いほど早い時期に認められた。第2表は



第9図 播種密度が苗の出葉に及ぼす影響

注) 図中の数字は播種量 (cc/箱)

● 出葉転換点

第2表 限界移植期<sup>\*</sup>と苗代期における出葉転換点との関係

播種量 (cc/箱)	1978		1979	
	限界移植期 (月・日)	出葉転換点 (月・日)	限界移植期 (月・日)	出葉転換点 (月・日)
50	6-9	×	6-9	6-9
100	-	-	5-30	5-30
150	-	-	5-30	5-30
200	5-30	5-30	5-30	5-30
350	5-30	5-30	5-22	5-30

注) ×: 不明

-: 欠測

\*: 第8図に示した

第3表 出葉転換点における葉面積指数(LAI)

播種量 (cc/箱)	LAI
50	6.2
100	6.7
150	6.6
200	8.3
350	7.2

各区の限界移植期と出葉転換点との関係を示したものである。この表で明らかのように、2カ年とも限界移植期は出葉転換点にほぼ一致することが認められた。また、第3表に出葉転換点におけるLAIを示した。各区のLAIは6.2~8.3でほぼ一定であった。

### 考 察

どの移植時期においても、播種密度の高い区ほど出穂期が遅延し、また、移植期の温度にかかわらず晩植ほど出穂期の区間差が増幅されるが、これは、第9図に示すように密播区ほど移植時の葉齢が低く、晩植になるほど葉齢の区間差が増大することによる。

播種密度の相違による限界移植期の早晩は移植期の許容幅の長短を示していると考えられる。播種密度が100 cc以上になると移植期の許容幅は50 cc区（従来の畑苗代における成苗の標準播種密度に相当する）に比べて著しく縮小され、350 cc区では1979年の例のように、

移植期を遅らせて活着期冷温を回避しても出穂遅延はほとんど軽減されない。実際には、6月第1半旬まで移植期を遅らせることがしばしばあるが、この時期まで移植期移動の許容幅を拡大するためには、播種密度を $100\text{cc}$ 以下に止める必要があると考えられる。現行の機械移植栽培は播種密度が $350\text{cc} \sim 400\text{cc}$ の稚苗、 $200\text{cc} \sim 250\text{cc}$ のいわゆる中苗を用いることによって成立しているが、今後は $100\text{cc}$ 以下の播種密度の苗を機械移植できる技術の開発を強力に進めなければならぬと考えられる。

第2表に示すように限界移植期は各区とも苗の出葉転換点にほぼ一致している。また、出葉転換点における $LA I$ は播種密度にかかわらず $6.2 \sim 8.3$ の範囲でほぼ一定である。これらのことは限界移植期が苗代の過繁茂と密接な関係にあることを示唆している。苗代における出葉転換点は、基本的には、播種密度によって支配されるが、密播条件下においても育苗管理によって出葉転換点を遅らせること

はある程度可能であろう。その点については次章で述べることにする。

#### 第4節 小括

活着期の温度条件が著しく異なる2カ年の調査、活着期の水地温処理実験ならびに移植期の移動実験を試み、苗の種類との関連において出穂期の活着期温度反応を検討した。

1. 播種密度、育苗日数、育苗様式などを異にして養成した多種多様な苗を同一日に移植したところ、活着期冷温年次（1969年）における出穂遅延は葉齢の低い苗ほど助長された。

2. 活着期冷温年次における出穂遅延が葉齢の低い苗ほど助長されるのは、活着期冷温によって移植後の主稈出葉数はほとんど変化しない一方で、出葉速度は苗の葉齢にかかわらずほぼ同程度に低下したことによって説明される。

3. 活着期冷温による出穂遅延と移植時の

苗の葉齡との関係は、活着期の水地温処理実験によっても認められた。

4. 移植後10日間の葉齡増加の限界温度は熟苗、成苗、稚苗とも $12^{\circ}\text{C}$ 前後であった。また、それ以上の生育可能温度域における葉齡増加についても、苗の種類による相違はみられなかった。

5. 播種密度の高い苗、また、葉齡の低い苗ほど移植期の遅れにともなう出穂遅延が助長され、移植期の許容範囲が縮小された。

6. 以上を要するに、出穂期の活着期温度反応は移植時の葉齡によって異なり、葉齡の低い苗ほど出穂遅延度が増大する。活着期冷温による出穂遅延を軽減するためには、機械移植栽培においても葉齡の進んだ苗を移植することが必要である。

苗代における出葉速度は基本的には播種密度によって支配されるが、機械移植が前提となる今日の稲作では、密播条件下においても出葉速度を早期に低下させない育苗管理法を

検討することが必要である。

## 第2章 育苗期における葉齡の促進方法の 検討

生育各期の冷温による障害については、生理・生態的な見地から研究が数多く行われており、その機作<sup>26, 28, 49, 50, 55, 56, 70, 76, 77, 78, 79</sup>についての知見も少なくない。

しかし、生育各期の冷温による出穂遅延を実際に軽減するための新しい知見は少なく、前章で指摘したように苗代期における葉齡をできる限り増大させ、それを早植<sup>1, 2, 3</sup>えすることが最も効果的な手段となる。ところが、機械移植栽培の育苗は、機械の移植性能や育苗経費における制約から、単位面積当たりの播種量が従来の畑苗代の数倍に達する条件でおこなわれなければならないために、苗代において葉齡を増加させることが極めて困難になっている。

こうしたことから、密播条件下で苗の葉齡

を増加させる育苗管理法について検討を行った。

## 第1節 育苗様式が苗の葉齡に及ぼす影響

機械移植栽培における育苗は、実に様々な方法でおこなわれているが、出芽方法からみると二つに大別される。ひとつは、育苗箱に播種し、それを出芽器に搬入して人工的に加温する方法であり、もうひとつは、ビニールハウス内に設定した苗床にポリエチレンフィルムなどを被覆して出芽させる方法である。前者は稚苗移植栽培の確立とともにその出芽法として広く普及している方法であり、後者は成苗ないしは熟苗の育苗において畑苗代において従来から行われていた方法である。1973年に機械移植栽培の苗を種々の方法で養成したが、出芽方法を異にするいわゆる簡易育苗と箱育苗において、移植時の葉齡が著しく異なっているのが観察された。本節では、この



二つの育苗様式における葉齡，地上部乾物重／草丈比，葉位別葉身長，育苗期の地温ならびに出穂期と比較検討する。

### 材料および方法

しおかりを供試し，催芽糞を枠または箱当たり250<sup>cc</sup>ずつ簡易育苗では4月11日，4月16日，4月23日および5月1日，箱育苗では4月11日，4月16日，4月20日および4月26日に播種した。なお，簡易育苗とは，育苗作業の省力化ならびに資材の節減を主目的に考案された育苗様式で，被覆資材を用いて出芽させる育苗法のひとつである。すなわち，均平にした地表に多数の小孔のあるポリエチレンフィルムを敷き，その上に育苗箱と同じ規格の無底の木枠を置いて土を詰め播種するものである。根はポリエチレンフィルムの小孔を通して床土にまで伸長することができ，被覆は寒冷紗を用い，播種後7日間行った。一方，箱育苗は塩化ビニール製の育苗箱を用い，

根が箱の底の小孔を通して伸長しないように新聞紙を3枚敷き、その上に土を詰めて播種した。播種後直ちに30℃に設定した出芽器に36時間入れて出芽させた。出芽後は両育苗様式とも同一のビニールハウスの中でほぼ同一の育苗管理をおこなった。施肥は、基肥として3要素を枠または箱当たり1gずつ施用し、さらに追肥として、1.5葉期および2.5葉期に窒素を1gずつ施用した。4月11日に播種した区について、4月24日から5月5日までの地表下0.5cm（籾の位置）の地温をサーミスター温度計によって測定した。

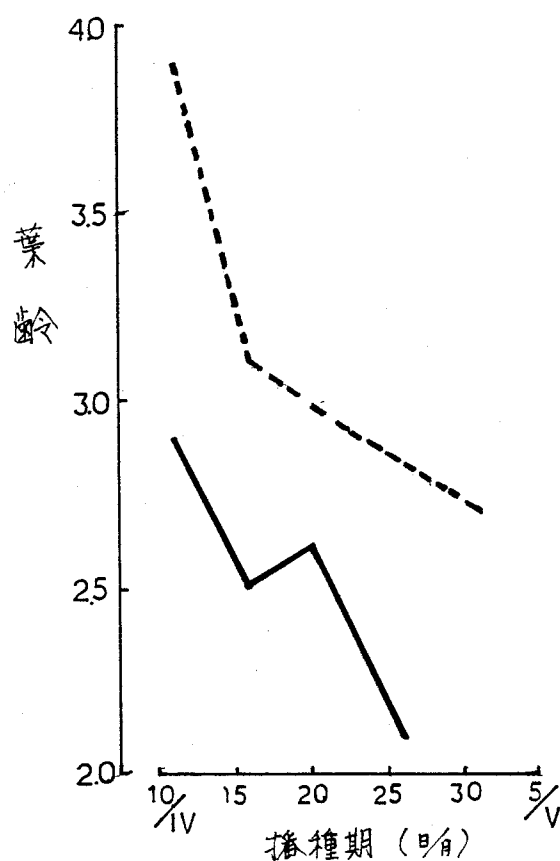
本田への移植は5月20日に行った。本田施肥は窒素、磷酸、加里を10a当たり8, 8, 6kgずつ全量基肥とし、栽植密度は1株3個体、m<sup>2</sup>当たり25株とした。苗代期は1区3箱、本田は1区2反復とした。

移植時に苗の葉齢、草丈、地上部乾物重ならびに各葉位の葉身長を測定した。出穂期は、生育中庸な10株を調査株に選び、全茎の50%

が出穂した日で示した。

## 結 果

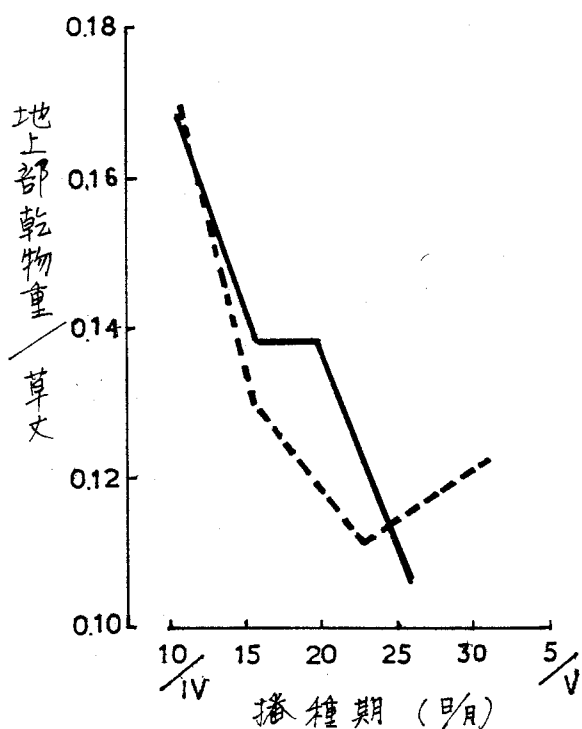
第10図に移植時の葉齡を示した。簡易育苗、箱育苗とも播種期が遅いほど葉齡は低下したが、簡易育苗の葉齡は箱育苗のものよりも増加することが認められた。地上部乾物重／草



第10図 育苗様式が移植時の苗の葉齡に及ぼす影響

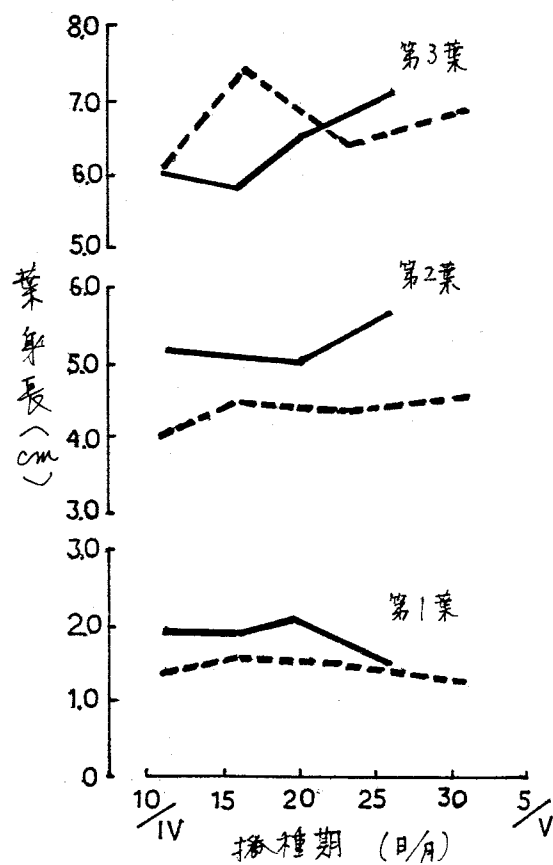
注) ——— 箱育苗      - - - - - 簡易育苗

又此は第11図に示すように、両育苗様式とも播種期が遅いほど低下したが、両者の間に大差は認められなかった。また、第12図に葉位別葉身長を示した。第2葉および第3葉は、播種期が遅れるほど葉身が長くなる傾向を示したが、第1葉の葉身は播種期にかかわらずほぼ一定であった。育苗様式間で比較してみると、第1および第2葉の葉身長は簡易育苗



第11図 育苗様式が移植時の地上部乾物重/草丈比に及ぼす影響

注 ——— 箱育苗      - - - - 簡易育苗



第12図 育苗様式が移植時の葉位別葉身長に及ぼす影響

注 ——— 箱育苗      - - - - 簡易育苗

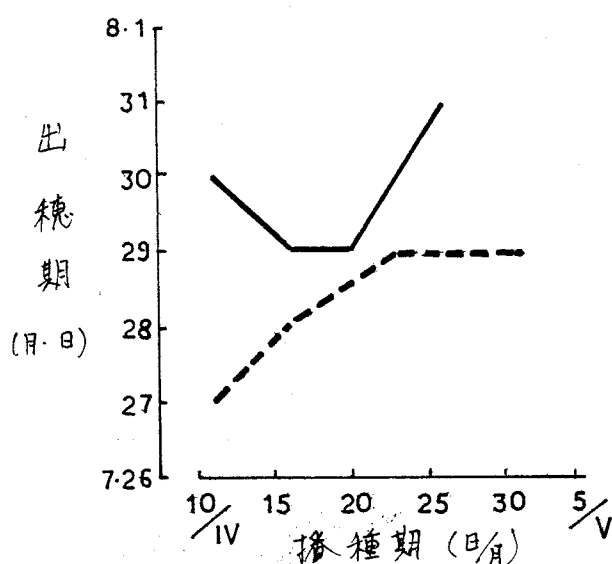
において明らかに短かったが、第3葉の葉身長は播種期が早い場合は簡易育苗において長く、遅い場合は箱育苗において長かった。

第4表は地表下 0.5<sup>cm</sup> の地温を示したものである。この表で明らかのように簡易育苗は箱育苗に比べて最高温度は低いが、最低温度は高く、平均温度はやや高い値を示した。

第4表 地表より下 0.5cm の地温

育苗様式	温度 (°C)	4 月							5 月					平均
		24日	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	
簡易育苗	最高	20.5	14.0	13.5	28.0	27.0	15.0	31.0	27.5	14.0	32.5	34.5	37.5	24.5
	最低	11.5	10.0	8.5	6.5	8.0	8.5	6.5	10.0	11.0	7.5	7.0	10.0	8.8
	平均	16.0	12.0	11.0	17.3	17.5	11.8	18.8	18.8	12.5	20.0	20.8	23.8	16.7
箱育苗	最高	21.5	15.0	14.5	29.0	28.0	16.0	31.5	29.0	14.0	30.0	35.0	38.5	25.2
	最低	9.5	9.0	7.5	6.0	7.0	6.5	5.5	8.5	9.5	5.5	5.5	8.0	7.3
	平均	15.5	12.0	11.0	17.5	17.5	11.3	18.5	18.8	11.8	17.8	20.3	23.3	16.3

出穂期は第13図に示した。両育苗様式とも播種期が遅れるほど出穂期は遅延したが、播種期が同一の場合は、簡易育苗において出穂期は促進された。



第13図 育苗様式が出穂期に及ぼす影響

注) ——— 箱育苗      - - - - 簡易育苗

## 考 察

簡易育苗区は箱育苗区に比べて葉齡が増加し、その違いが出穂期まで影響することが認められる。両育苗様式における地上部乾物重／草丈比には大差がないことから簡易育苗によって苗の充実度が低下することなく、葉齡が増加していることがわかる。

上述した育苗様式における葉齡の相違をもたらす原因として、まず、茎の生長点附近の地温（以下単に地温と記す）が考えられる。<sup>13, 26)</sup>

1973年はおずか12日間だけの測定ではあるが、第4表に示したように、簡易育苗は箱育苗に比べて最高地温は低いものの最低地温は高く、平均地温もやや高く推移する傾向がみられる。同一のビニールハウスの中でほぼ同じ育苗管理を行ったにもかかわらずこのように地温が異なるのは、箱育苗では箱内土壌と床土との間に空隙があり、根の下方への伸長が遮断されているのに対し、簡易育苗では有孔ポリエチレンフィルムを挟んで枠内の土壌と床土とが密着しているためであると考えられる。しかし、両育苗様式における葉齢の相違を説明するには、両者の地温差は僅少であり、さらに別の要因を求めねばならないと考えられる。

武田・丸田<sup>87)</sup>は、苗代において肥料が十分与えられている状態では、播種密度の増加による苗の素質の低下は主として葉の相互遮へいによる同化量の低下によるものであることを明らかにしている。本実験では、両育苗様式とも窒素肥料は十分施用されており、播種

密度は同一であるので同化量を変化させる要因としては草型の相違が考えられる。本実験では草型や同化量は測定されていないが、第12図に示すように簡易育苗は箱育苗に比べて第1および第2葉身長が短縮されている。その結果、簡易育苗においては葉身が直立型になり、葉の相互遮へいが軽減されて同化量が増加すると解することとできる。葉身長はそれが伸長する期間<sup>110)</sup>の環境条件によって左右されるので、両育苗様式における第1および第2葉身長の差は、発芽から出芽までの環境条件、すなわち、主として温度および光条件の差に起因していると考えられる。

いずれにしても、さらに詳細な調査を行ってこれらの推論の正否を証明する必要がある。簡易育苗と箱育苗において葉齢が異なることの機構を究明することによって、密播条件下の育苗管理における技術改善の手掛かりが得られるものと思われる。



## 第2節 出芽条件が苗の出葉速度に及ぼす影響

前節において移植時における葉齡が簡易育苗では箱育苗よりも促進されることを見い出し、その原因を地温ならびに草型の面から考察した。そこで、本節では、出芽条件が苗の出葉速度に及ぼす影響について実験し、前節で示した推論の正否を明らかにしようとした。

### 材料および方法

しおかりを供試し、簡易育苗ならびに箱育苗の2様式で苗を養成した。いずれも前節の育苗に用いたものと同じ規格の枠ならびに箱を用いた。両育苗様式とも、4月15日に催芽糞を150<sup>cc</sup>ずつ播種した。簡易育苗区はビニールハウス内で寒冷紗を1枚被覆して出芽させた。箱育苗区については2通りの方法で出芽させ計3区を設けた。ひとつは、30<sup>°C</sup>に設定した出芽器（暗所）に36時間入れる方法であ

り、もうひとつは、簡易育苗と同様にビニールハウス内で寒冷紗を一枚被覆する方法である。寒冷紗を被覆した箱育苗における地表下 $0.5\text{ cm}$ の地温ならびに地表上 $5\text{ cm}$ の気温は第5表に示す通りである。この方法における播種から出芽までの所要日数は6日であり、その間の平均地温は約 $20^{\circ}\text{C}$ であった。したがって、

第5表 育苗箱の地温および気温

項目	温度 (°c)	4月												
		(16日)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	23	24	25	26	27	28
地温 (地表下2.5cm)	最高	20.0	22.0	45.0	34.5	38.5	33.0	36.5	33.0	36.0	36.0	21.5	24.5	38.0
	最低	8.5	7.5	5.0	6.0	6.5	7.0	9.0	10.0	5.0	8.5	10.5	9.5	8.0
	平均	14.3	14.8	25.0	20.3	22.5	20.0	22.8	21.5	20.5	22.3	16.0	17.0	23.0
气温 (地表上5.0cm)	最高	—	17.0	36.5	31.5	32.0	39.5	35.0	32.0	32.5	35.0	21.5	25.0	28.5
	最低	—	—	1.5	0.5	3.0	3.0	7.0	6.0	1.5	1.0	7.5	7.5	4.5
	平均	—	—	19.0	16.0	17.5	21.3	21.0	19.0	17.0	18.0	16.8	16.3	16.5

注 ( ) : 寒冷紗を被覆した日を示す。

— : 欠測

被覆期間中の平均地温は $20.0^{\circ}\text{C}$ 。

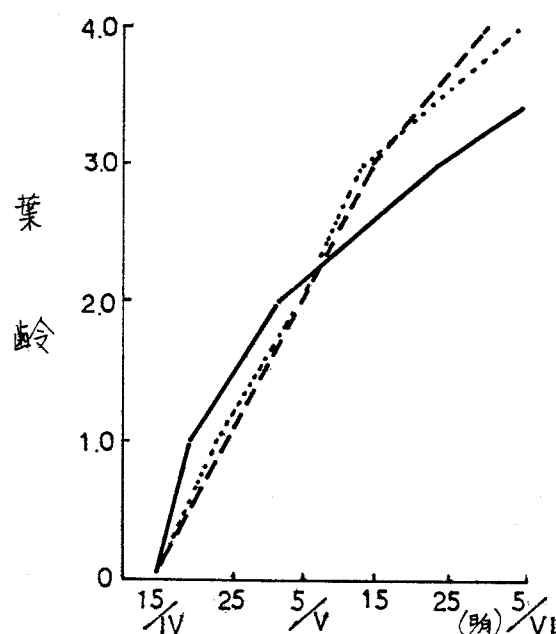
本節では、出芽器を使用した箱育苗を $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区、寒冷紗を使用した箱育苗を $20^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区と呼ぶ。出芽期以降はすべて同一のビニールハウス内に置き、ほぼ同一の管理を行った。育苗施肥は前節と同じである。

各区3箱を用い、各葉位葉の抽出期を調査

した。簡易育苗および $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区については、2葉期における葉面積の垂直分布、葉身の湾曲度のほか生育に伴う純同化率（ $\text{NAR}$ ）、地上部の全窒素含有率（地上部 $\text{N}\%$ ）、葉位別の葉身長および葉鞘長の変化を調査した。なお、葉面積の垂直分布は20個体を茎基部から $2\text{ cm}$ ごとに切り離し、各層別に葉面積を測定して全葉面積のパーセントで示した。葉面積の測定は、第1章第3節と同様葉身をゼロックスで複写して求める重量法によった。葉身の湾曲度は葉身長を葉耳から湾曲した葉身の先端までの距離で除した値で示した<sup>91)</sup>。窒素の分析はセミミクロケルダール法で行い、乾物当たりパーセントで示した。

## 結 果

第14図に育苗期間における出葉経過を示した。簡易育苗区および $20^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区では播種後45～50日目（5月30日～6月4日）に葉齢が4.0に達したが、 $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区では3.5に達し



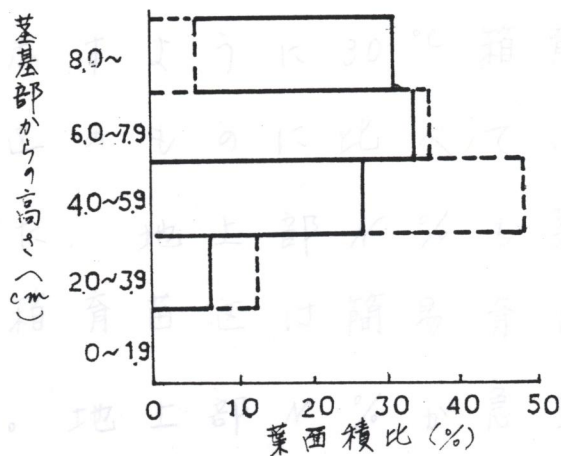
第14図 出芽条件を変えた場合の苗の出葉経過

注) ——— 30°C } 箱育苗    ..... 簡易育苗  
 ----- 20°C }

なかった。簡易育苗区と20°C箱育苗区における出葉経過はほぼ等しく、葉齡3まではいずれもほぼ直線的に出葉したものの、それ以降は出葉速度がやや低下した。一方、30°C箱育苗区では葉齡1までの出葉速度は著しく促進され、他の2区を大きく上まわっていたが、それ以降しだいに低下し、葉齡2に達してからは他の2区より劣る結果となった。

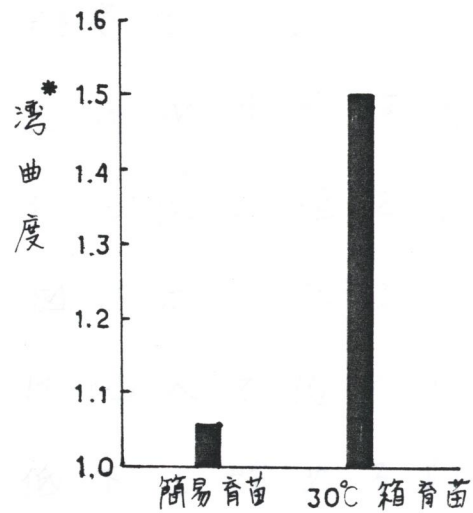
簡易育苗区と30°C箱育苗区の葉齡がほぼ一致する5月8日～5月11日に両区の葉面積の無直分布ならびに第2葉々身の湾曲度を比較

した。その結果を第15図および第16図に示した。第17図はこの時期における両区の生育状態を示したものである。これらの図で明らか



第15図 育苗様式が2葉期の葉面積の垂直分布に及ぼす影響

注)  30°C 箱育苗 (5月11日測定)  
 簡易育苗 (5月8日測定)



第16図 育苗様式が第2葉葉身の湾曲度に及ぼす影響

注) \*  $\frac{\text{葉身長}}{\text{葉身から湾曲した葉身の先端までの距離}}$



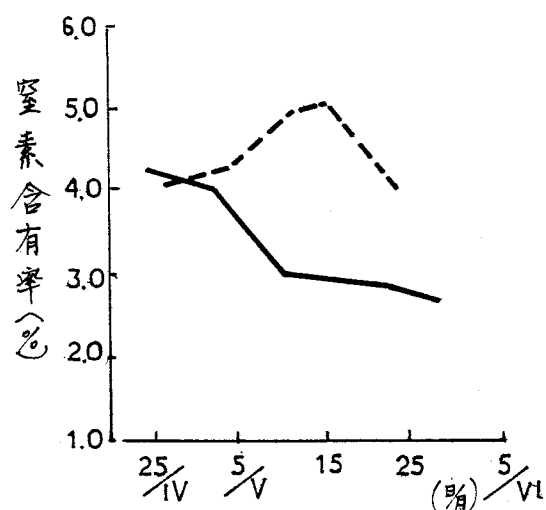
第17図 2葉期における苗の生育状態  
 注 A: 簡易育苗 B: 30°C 箱育苗

なように、 $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区は簡易育苗区に比べて第2葉の葉身は湾曲しており、葉身が上層により多く分布していることが認められた。2葉期以降2回NARを測定したが、第6表に示すように $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区のNARは簡易育苗区のものに比べていずれも低い値を示した。また、地上部N%も第18図に示したように $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区は簡易育苗区に比べて低く推移した。地上部N%が急速に低下し始める時期は、

第6表 育苗様式が純同化率<sup>\*</sup>に及ぼす影響

区名	生育時期	
	5月3日～5月10日	5月16日～5月23日
簡易育苗	27.01	19.18
$30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗	8.41	11.23

\* ( $\times 10^{-4} \text{g} / \text{cm}^2 / \text{7日}$ )

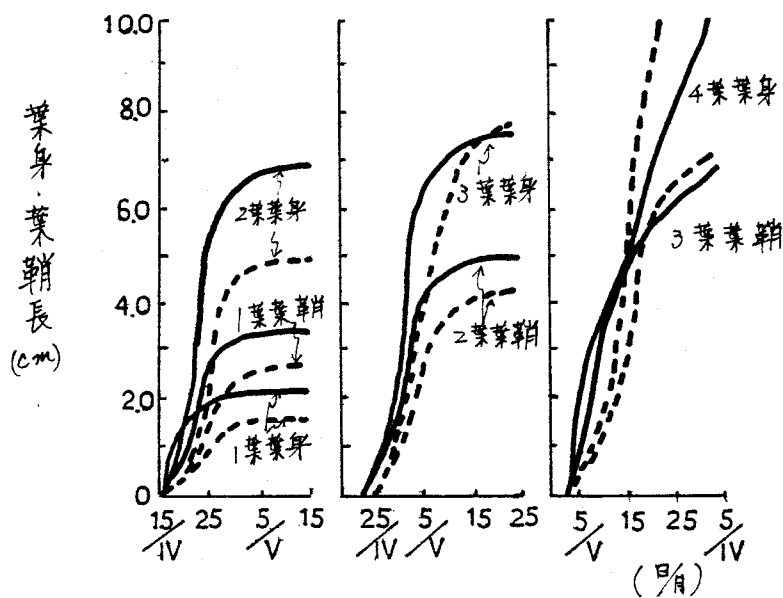


第18図 育苗様式が地上部窒素含有率に及ぼす影響

注) ——— $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗    ---- 簡易育苗

両区とも出葉速度が急速に低下し始める時期にはほぼ一致していた。第19図は葉位別の葉身長ならびに葉鞘長を示したものである。第1

葉および第2葉については、葉身、葉鞘とも30℃箱育苗区において伸長が促進され、伸長完了時の長さも増大した。第3葉については、伸長速度は葉身および葉鞘とも30℃箱育苗区において促進されたが、伸長完了時の長さには大差は認められなかった。第4葉については、伸長完了時の長さは測定されなかったが、葉身の伸長速度は育苗期後半簡易育苗区において促進される傾向が認められた。



第19図 育苗様式が葉身および葉鞘の伸長に及ぼす影響

注) ——— 30℃箱育苗      - - - - 簡易育苗

## 考 察

簡易育苗区の葉齡が出芽器（ $30^{\circ}\text{C}$ ・暗所・36時間）を使用した箱育苗区のものよりも増加することは、本実験においても確認された。この理由は、葉齡が2に達してから以降における両区の出葉速度の相違にある。簡易育苗区と $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区の2葉期以降の出葉速度に対して、前節で指摘したように地温が関与しているか否かは、簡易育苗区と $20^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区の出葉経過を比較することによって確かめられる。出芽条件が同じであれば、簡易育苗区と箱育苗区の出葉経過は第14図に示すようにほぼ一致する。したがって、育苗様式の相違による地温差の範囲では出葉速度にほとんど影響はないと考えられる。

簡易育苗区および $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区の2葉期における草型をみると、 $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区は簡易育苗区に比べて第2葉の葉身が湾曲しており、上層に葉が集中している。 $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区の群落が湾曲型になるのは、第19図に示すように



第1および第2葉の葉身および葉鞘, とくに第2葉の葉身が $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区において長くなるためであると考えられる。田中<sup>9)</sup>はLAIが $\infty$ の水稲群落において湾曲葉群落と直立葉群落では光-同化曲線が異なることを示している。すなわち, 湾曲葉群落では上層の葉による光遮断が強いために光が群落深部に達し難く, 群落に投射される光が強まっても群落深部の同化量が増加しない。一方, 群落上層の葉は早くから光飽和に達するので, それ以上投射光が強まったとしても群落全体の同化量は増加しないことを明らかにした。この実験結果は本実験における $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区と簡易育苗区との比較にも当てはまるものと思われる。すなわち, 湾曲型群落の $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗区において受光量が制限されるとともに光の利用効率 $\eta$ が低下し, これが2葉期以降における急速な葉身 $\eta\%$ の低下と相まって著しく低い $\eta AR$ に結びついたと考えられる。

以上を要するに, 出芽条件を異にする簡易

育苗と箱育苗における生育の比較から、密播条件下の育苗において2葉期の草型が2葉期以降の出葉速度に強く関与することが示された。各葉位葉の中で第2葉の葉身長に顕著な差が認められることから、第2葉の葉身長を短くすることが密播条件下における育苗管理上の重要な目標になると考えられる。その具体的な葉身長については、今後さらに異なる品種や環境条件のもとで検討されなければならないが、2カ年の結果を総合すると5 cm以内に止める必要がある。

被覆資材を用いた出芽法はそのための有効な手段のひとつであると考えられる。第2葉の葉身長の制御については、出芽法、窒素施用法、生育抑制剤の利用などの面から今後さらに検討する必要がある。

### 第3節 小括

出芽条件を異にする簡易育苗と箱育苗における生育の比較から、密播条件下において葉

齡を増加させる育苗管理法を検討した。

1. 被服資材を用いて出芽させた簡易育苗は、出芽器（ $30^{\circ}\text{C}$ ・暗所・36時間）を使用して出芽させた箱育苗よりも移植時における葉齡が増加することが見い出された。前者は葉齡3まで出葉速度は低下しなかったのに対して、後者は葉齡が2に達してから急速に低下した。

2. 箱育苗でも簡易育苗と同じ被服資材を用いて出芽させれば、両者の出葉経過はほぼ一致した。したがって、育苗様式の相違による地温の差は出葉速度にほとんど影響していないとみられた。

3. 出芽器を使用した箱育苗（ $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗）は簡易育苗に比べて第2葉の葉身が湾曲化し、葉が上層に集中していた。2葉期以降のNARは $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗において著しく低下した。また、 $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗の地上部窒素含有率は2葉期以降急速に低下した。

4.  $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗の群落が湾曲型になるのは

出芽期の高温・暗黒によって第1, 第2葉の葉身および葉鞘が長くなるためであると考えられた。

5. 以上を要するに簡易育苗と箱育苗における生育の比較から、密播条件下の育苗において、2葉期の草型が2葉期以降の出葉速度に強く関与することが示された。

6. 簡易育苗と30℃箱育苗における各葉位葉の中で第2葉の葉身長に最も顕著な差が認められた。密播条件下において出葉速度を促進させ、葉齢を増加させるためには、第2葉の葉身長を5cm以内に止めることが必要である。被覆資材を用いる出芽法はそのための有効な手段の一つであると考えられる。

## 第2編 窒素ならびに堆肥施用と穂孕期の冷温による不稔との関係

穂孕期の冷温による不稔（穂孕期不稔）は、北海道における米の安定生産を阻害する最も大きな要因のひとつである。この時期の耐冷性を高める方法として、確実でかつ効果的な方法は品種改良であるが、栽培条件によっても品種間以上に大きな効果を示すことがある。しかし、圃場における穂孕期耐冷性は、従来は、精農家によって種々の技術が総合的に組み立てられてのち初めて獲得されるものとされ、実験的に再現させることがなかなか困難であった。

ところが、最近、施肥や栽培法によって穂孕期の耐冷性を向上させ得ることを実験的に示した例が<sup>2)</sup>、3報告されている。佐々木・和田<sup>3)</sup>は窒素施用量が多いと不稔が多発するが、磷酸施用量を増すと不稔が<sup>4)</sup>軽減できるとを示した。また、松崎・松島はV字理論

稲作が穂孕期不稔に対して抵抗性を強めることを報告している。このように、穂孕期の耐冷性を多少とも実験的に再現できるようになったことは耐冷栽培法を策定する上で大きな意味を持つ。

栽培条件と穂孕期耐冷性との関係については、今後、さらに精密な圃場実験が繰り返される必要があると考えられる。筆者は1975年に作物体局部冷却法ならびに冷水灌漑法によって圃場栽培の稲を穂孕期に精密に冷温処理する2種の装置を考案し、栽培条件と穂孕期耐冷性との関係を研究できる実験系<sup>4)</sup>を確立した。本編では、まずこれらの装置の構造、性能、利用価値などについて論及し（第1章）、ついで、穂孕期における稲体の窒素栄養の診断法（第2章）、および堆肥を施用した水稻の形態と機能（第3章）をそれぞれ穂孕期不稔との関連において検討する。

## 第 1 章 圃場における穂孕期冷温処理方法 の検討

水稻の冷害研究を計画的に行うためには、人為的に冷害を起こさせる冷温処理装置が不可欠である。近年、大型のファイトトロンや人工気象室が各所に設置され、冷害の生理学的研究や品種の耐冷性検定に有効に利用され、<sup>26, 55, 56, 70</sup> 成果をあげている。しかし、そのような装置の中での実験は、精密かつ再現性がある半面、ポットで養成した材料に限られた空間に置かねばならず、圃場と比べ、著しく異なった条件下であることは免れない。

近年、圃場試験にも利用し得るような人工気象装置が<sup>11, 47</sup> 2, 3 考案されてはいるが、著しく高価であったり、性能がまだ不十分のため、本研究には利用し難い。

冷害研究において冷温処理が正確にできるかどうかは、研究の成否と左右すると考えられる。そこで、まず、圃場で栽培した稲を穂

孕期に精密に冷温処理する方法について述べる。

## 第1節 穂を含む葉鞘部を冷却する方法

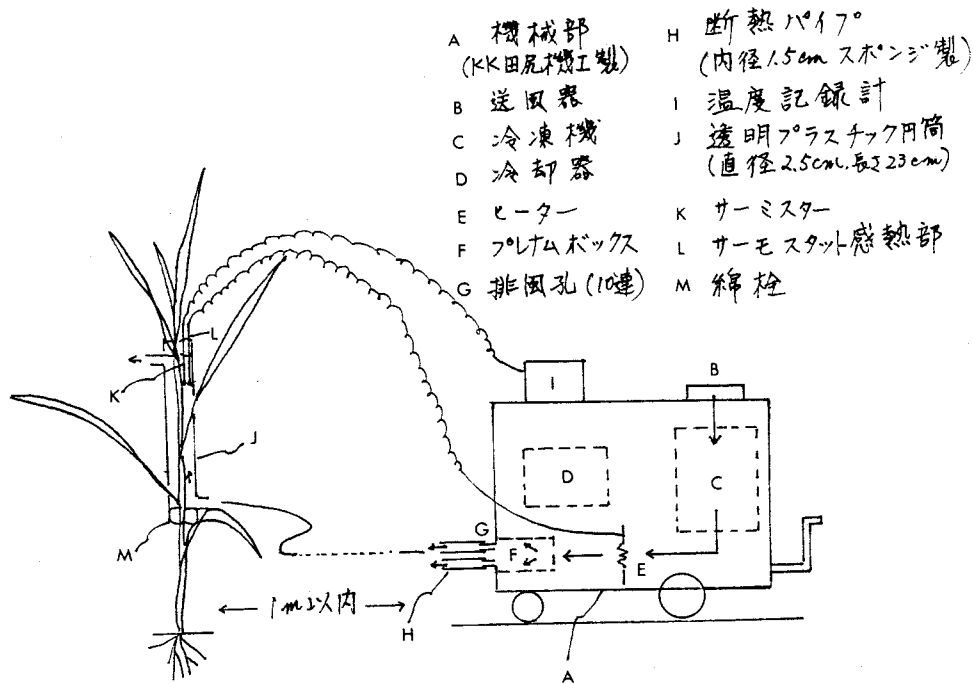
圃場において一定の空間をガラスや透明プラスチックで囲い、その中の気温を調節しようとするとき、その空間が大きいほど強力な冷却装置が必要であり、かつ精密な温度制御が困難になる。

より安価な方法でしかも高精度に冷温処理するための一つの方法として、冷温感受性の部位のみを冷却する方法が考えられる。穂孕期不稔における冷温感受性の部位は穂であるが、実際にはその部分のみを冷温処理することは極めて困難なため、穂を含めた葉鞘部を冷却する方法について検討した。

### 装置の構造

本装置は第20図に示すように、空気の温度





第20図 穂を含む葉鞘部を冷却する装置の略図

と所定の温度に制御する機械部、葉鞘を含む穂部を覆う透明プラスチック製円筒ならびに両者を連絡する断熱パイプよりなっている。また、圃場へ自由に移動できるように機械部には車輪を取り付けてある。機械部は概要次の機能をもつ。

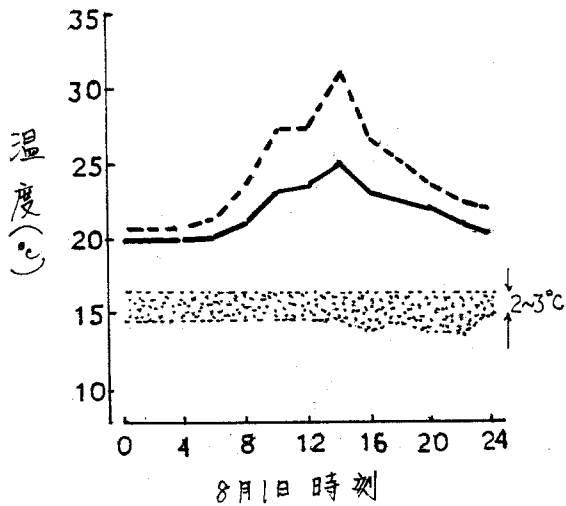
送風器によって取り込んだ外気を冷凍機によってまず  $0 \sim 3^{\circ}\text{C}$  に冷却する。次に、その空気をヒーターによって設定温度にまで加温し、十分攪拌して10本の排風孔から断熱パイプを通して円筒へ送り込む仕組みである(排風孔における流速は  $11.1 \text{ l/min}$ )。10本の排風孔は

5本ずつ別回路になっているので、10本とも同じ温度にあるいは5本ずつ別々の温度に制御することが出来る。なお、機械部は3相200V、約4 kW/hの電力を必要とし、総重量は約300 kgである。

### 使用結果

穂を含む葉鞘部を覆うのにどのようなものを使用するかについて種々検討した結果、幼穂が位置している葉鞘の部分に直径2.5 cm、長さ23 cmの透明プラスチック製の円筒をかぶせ葉身は円筒に開けた小孔を通して外に出すことにした。そして、円筒の上下開口部に脱脂綿を詰めることによって円筒内温度の維持に好結果を得た。

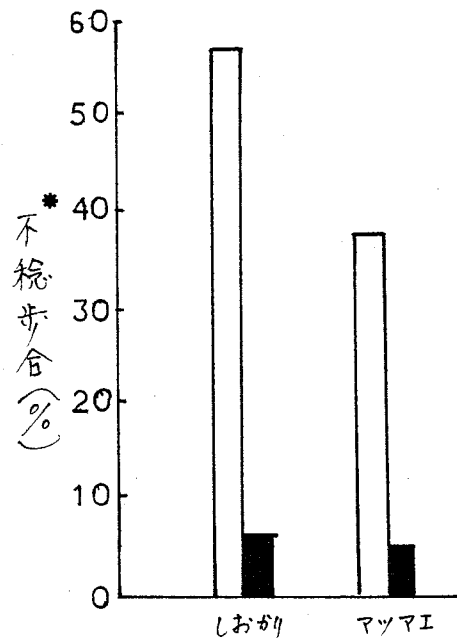
実際に使用した結果の一例を示すと、第21図のようである。8月1日は晴天で、外気温は10℃以上変化したか、10個の円筒内の気温を同じ温度にする場合、あるいは5本ずつを別々の温度に保つ場合のいずれにおいても、



第21図 円筒内の気温制御後事例

—— 水田水温 - - - - 気温

□ 円筒内気温



第22図 穂を含む葉鞘部の穂孕期冷温処理による不穏

□ 冷温処理 ■ 無処理

注) 処理開始時の葉間長(cm) { しおかり: -3.0~1.0  
マツマエ: 0~4.0

冷温処理: 15℃ 6日間連続

\*  $\frac{\text{平均1穂不穏粒数}}{\text{平均1穂総粒数}} \times 100$

本調査では80%エタノールで脱色後1%ヨードヨド加液で胚乳が染色されないものを不穏とした。

2~3℃の振幅で制御することができた。圃場で栽培したしおかりとマツマエを10茎ずつ穂孕期に6日間15℃で処理したところ、第22図に示したように前者に58%、後者に38%の不穏を誘発させることができた。

## 考 察

穂孕期冷温処理における冷媒は水でも空気でもよいが、冷却方法の難易からみると、冷却する部位が地上部の一部である場合は、本装置のように空気の方が容易であろう。空調方式においては制御する部位の乾燥がまず問題となる。本装置は湿度の調節機構がないために、乾燥による生育障害が懸念されたが、円筒の上下に取り付けた脱脂綿を湿らせておくことによって筒内の湿度が適度に保たれ、乾燥による障害はほとんど問題にならなかった。

従来、作物の地上部の一部分の温度を制御するために作られた簡易な装置として、沢村<sup>80)</sup>相見によって考案されたものをあげることができる。この装置はコンプレッサーで空気を円筒内に送り、途中の蛇管で冷却あるいは加熱して円筒内部の温度を調節するものである。同氏らはこの装置を用いて一応目標温度を得ることに成功している。しかし、蛇管の冷却

方法が氷または水道水によるという単純な方法であるために、外気温が変化するとそのつど円筒と蛇管の間の長さや太さを変えたりして熱の吸収を調節しなければならず、圃場試験に利用することはまず不可能である。本装置は温度制御機構が自動化されているため、上述のような欠点は除却されている。したがって、本装置は現状のままで圃場試験における冷温処理装置として利用できる。しかし、円筒と機械部との間が1m以上離れると温度制御能力が急速に低下するとともに円筒内部に若干の温度むらができるなど、さらに改善すべき点が今後に残されている。このような事情から、少なくとも現時点での圃場における穂孕期冷温処理には、次に述べる冷水灌漑装置の方が利用価値は高い。

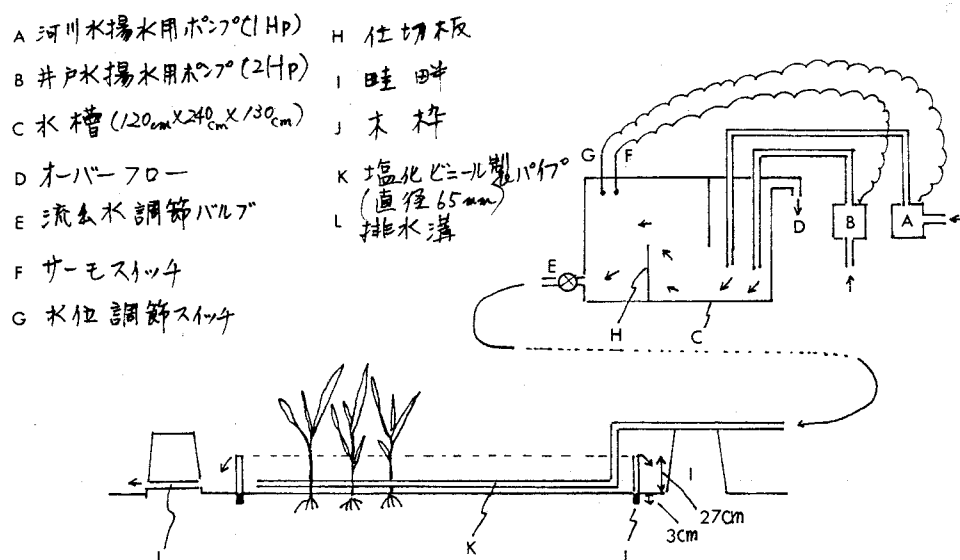
## 第2節 冷水を灌漑する方法

圃場で栽培した稲を冷温処理するために古

くから行われている方法は、河川や湧水地から導いた冷水を直接圃場に灌漑する方法である。<sup>10, 88)</sup>これは高価な設備を必要とせず、かつ多数の個体を容易に処理できる利点がある。したがって、多数の品種や系統の耐冷性を検定する方法としてとりわけ優れており、種々の改良を加えながら今日でも広く使われている。<sup>94)</sup>しかし、この方法を栽培試験に利用するためには、処理の精度をいっそう向上させなければならない。そこで、上記のように冷水灌漑の長所を保持しつつ、精密な冷温処理ができる方法について検討した。

### 装置の構造

本装置は第23図に示すように、地下水と河川水をくみ上げる2台の揚水ポンプ、それらの水を混合して一定水温にする大型水槽、その水を水田に灌漑するパイプ、ならびに水田に設置した木枠の4つの部分によって構成されている。地下水は直径55 mmのパイプを地下



第23図 冷水灌漑装置の略図

5 mに打ち込み、また、河川水は至近距離にある灌漑用水路から揚水するようにした。

上り農業試験場の地下水は年間を通して10～11℃の恒温であるが、河川水の温度は日変化ならびに季節変化する。この2つの異なる水温の水を混合して一定水温を得るために次のような方法を採用した。すなわち、水槽内に水位調節スイッチおよびサーモスイッチをそれぞれひとつずつ取り付け、前者を河川水揚水ポンプに、後者を地下水揚水ポンプに接続して流入する両者の水量が自動的に調節されるようにした。いま、水温を15℃に設定し

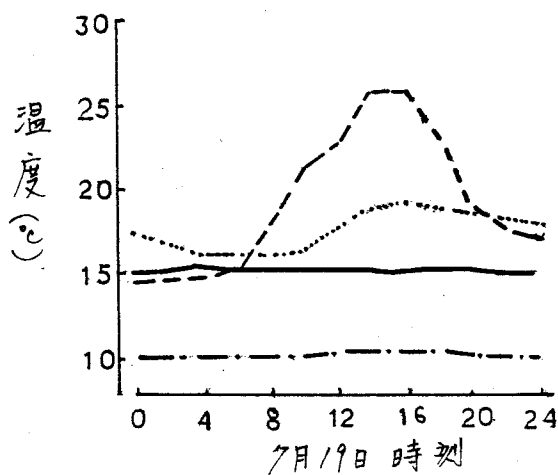
たとえると、まず、暖かい河川水と冷たい地下水が同時に流入し、水槽の水位は急上昇する。満水になると、水位調節スイッチが作動し河川水の流入は止まる。しかし、地下水は引き続き流入するので水温はしだいに低下していく。設定温度にまで低下すると、直ちにサーモスイッチが切れて地下水の流入も停止する。他方、水槽の水は一定の流速（最大  $323^{\circ} \text{L/min}$ ）で絶えず水田へ送られる仕組みとなっているため、水槽の水位は低下の一途をたどる。所定の位置まで水位が低下すると、水位調節スイッチが入り河川水が流入する。水温が再び上昇し、設定温度を越えるとサーモスイッチが入り、河川水と地下水が同時に流入することから上記のことが繰り返される。こうして、ほぼ一定水温に調節された水は水槽の側面にある流出水調節バルブを通り、直径  $65 \text{ mm}$  の塩化ビニール製のパイプによって水田に送られる。この水は田面に設置されたパイプの小孔を通してあらかじめ所定の大きさ、



高さに組まれた木杵の中に均一に流出する。  
木杵の中が満水になると余剰水は四方から均等にあふれ、排水溝から流出してゆく。

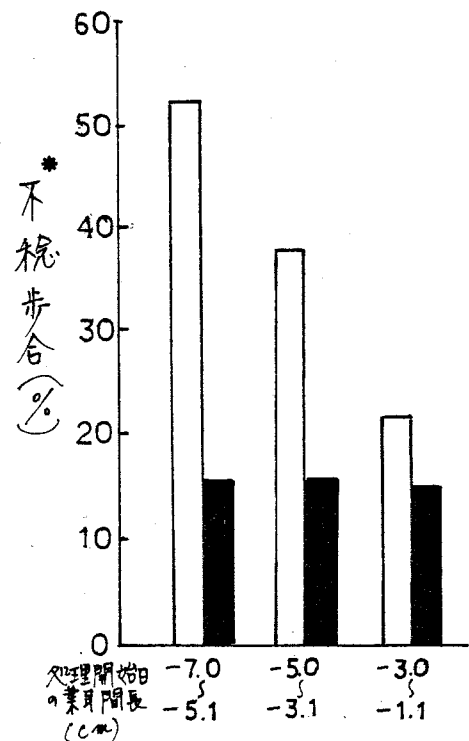
### 使用結果

第24図は穂孕期に水温を $15^{\circ}\text{C}$ 、水深を $27\text{cm}$ に設定し、面積 $26\text{m}^2$ の木杵を組んで使用した時の水温の制御事例を示したものである。こ



第24図 灌漑水温の制御事例

- 木杵の中の水溫
- - - 地下水の水溫
- ..... 河川水の水溫
- . - . 気温



第25図 穂孕期冷水灌漑による不穏

- 注)  冷温処理  無処理
- 品 種: しおかり  
冷温処理:  $15^{\circ}\text{C}$ ・5日間連続  
水 深:  $27\text{cm}$   
\* 第22図に示した。

の図で明らかのように、木枠の中の水温は快晴の日でも気温の影響を受けることなく、極めて正確に制御された。測定位置による温度差は $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 以内であった。また、河川水の取り入れ口に取り付けたストレーナーによって小さなごみはあらかじめ除去され、これにきれいな地下水が混合されるため、灌漑水はよく澄んでおり、水垢による稲体の汚染は河川水を直接灌漑する方法に比べて著しく少なかった。

圃場で栽培したしおかりを穂孕期に本装置を用いて5日間、水深27cm、 $15^{\circ}\text{C}$ で処理したところ第25図に示したように20～50%の不稔が誘発された。

## 考 察

本装置における冷温処理の精度は第24図に示したように極めて高く、真夏の晴天日でも約30 $\text{m}^2$ の水田の全茎の幼穂を穂孕期に<sup>注3)</sup>11～16 $^{\circ}\text{C}$ の範囲で温度処理することができ、使用

に当たり以下に述べるように多少の制約はあるものの、圃場試験における穂孕期冷温処理法としては極めて利用価値は大きいと考えられる。

本装置によって精密な冷温処理が行われるためには、まず、地下水の確保ができるという前提のもとにポンプの揚水能力が十分でなければならぬ。経験的には、真夏の晴天日に水深を 30 cm にして約 30 m<sup>2</sup> の枠内の水温を一定に保つたためには、それぞれのポンプに毎分約 300 l 以上の揚水能力が必要であった。したがって、設置する場所の地下水の条件によっては、かなり大がかりな設備を余儀なくされるであろう。また、本装置によって制御し得る水温の範囲は、地下水の最高温度と河川水の最低温度の範囲に限られる。上川農業試験

---

注 3) 小林・佐竹<sup>35)</sup>の研究によれば、17 ~ 20 cm の水深で冷温感受性が最も高い時期の穎花の 80 % が水で覆われる。

場の場合、地下水の水温は $10 \sim 11^{\circ}\text{C}$ でほぼ恒温である。一方、河川水の水温は盛夏であっても $16^{\circ}\text{C}$ に低下することがあるので、穂孕期冷温処理は $11 \sim 16^{\circ}\text{C}$ の範囲で可能である。このように、処理温度はあらかじめ地下水と河川水の温度変化をよく調べてから決定されなければならない。

圃場試験においては、冷温処理中またはその前後に自然の冷温の影響を受けて冷温処理の効果が不明確になることがある。こうした影響を避けるために、今後、本装置においても冷温時には直ちに試験区の草冠部をビニールなどで覆うことのできるような設備を取り付けることが望まれる。

### 第3節 小括

圃場試験の材料を穂孕期に精密に冷温処理する方法について検討した。

1. 移動式の稲体局部冷却装置を考案した。これは、1～5茎の穂部を含む葉鞘を一括し

て透明なプラスチック製の円筒で覆い、その中に冷気を送る仕掛けである。10本の吹き出し口があるので5本ずつ別々の温度にも制御できる。また、目的とする圃場に自由に運べるように車輪が取り付けられている。圃場において外気温が $10^{\circ}\text{C}$ 以上変化しても $\pm 3^{\circ}\text{C}$ の幅で筒内の温度を制御することができた。

2. 圃場において厳密に幼穂温度を調節できる冷水灌漑装置を考案した。これは、地下水と河川水を混合することによって一定面積の水田水温が自動的に調節される仕掛けである。この装置を用いて約 $30\text{ m}^2$ の水田の全茎の幼穂を穂孕期に $11\sim 16^{\circ}\text{C}$ の範囲で恒温( $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ )に温度処理することができた。

## 第2章 穂孕期の冷温による不稔を軽減・防止する稲体の窒素栄養条件について

穂孕期の冷温による不稔（穂孕期不稔）が窒素多肥によって助長<sup>83)</sup>されることは冷害年のたびに経験<sup>61, 68, 72)</sup>され、また、実験的にも証明されている。こうした多窒素による不稔の多発を防止するためには、穂孕期不稔に関する窒素栄養の診断指標を明らかにし、これにもとずいて施肥することが必要であろう<sup>6)</sup>。しかし、その明確な診断指標はなく、もっぱら経験的な勘によって診断されているのが現状である。こうしたことから、穂孕期不稔に関する窒素栄養の診断指標を明らかにしようとした。

### 第1節 葉身限界窒素含有率

作物の窒素栄養を知るために種々の方法が

提案されているが<sup>22, 60, 62, 71)</sup>、成分分析による診断は信頼度<sup>12, 37, 49)</sup>が高く、しばしば利用される方法である。穂孕期不稔の場合、稔実歩合が急激に低下する稲体の窒素含有率、すなわち、穂孕期不稔に関する稲体の限界窒素含有率が診断の指標になると考えられる。この値が掴めれば、稲体の窒素含有率がそれ以下になるように施肥すればよいことになる。したがって、本節においては穂孕期不稔に関する稲体の限界窒素含有率を明らかにしようとした。

### 材料および方法

1976年から1980年までの5ヵ年間、上川農業試験場の圃場において、基肥ならびに穎花分期追肥の窒素量を変え、毎年ほぼ同じ方法による実験を行った。

1976、1977および1980年はしおかり、1978および1979年はイシカリを供試した。試験区は窒素肥料（硫安）に関して、10a当たり成

分量で 4, 8, 12, 16 および 22 kg を全量基肥とする 5 区, このほかに, 基肥 8 kg, 穎花分化期追肥 4 kg の区を設け, 計 6 区とした。磷酸, 加里は過磷酸石灰, 塩化加里を用い, 各区ともそれぞれ 10 a 当たり成分量で 8 kg, 6 kg 相当量を全量基肥として施した。第 1 編第 2 章第 1 節に示した箱育苗の方法に準じて(ただし, 出芽器は使用しなかった), 3 葉苗を養成し, 1 株 3 個体,  $m^2$  当たり 25 株の栽植密度で 5 月下旬に移植した。1 区面積は約  $55 m^2$  で 1 区制とした。これらの材料を前章第 2 節で述べた冷水灌漑装置(水深 30 cm)を用いて穂孕期に冷温処理した。1976, 1977 および 1979 年は  $15^{\circ}C$ ・5 日間, 1978 および 1980 年は  $13^{\circ}C$ ・3 日間の処理を行った。なお, 各区がほぼ同一ステージに処理されるように比較的生育が進む区と遅れる区の 2 群にあらかじめ分けておき, 処理開始日を 2~3 日ずらすようにした。各年とも, 各区全茎の約 10% の茎の葉身間長がプラスに達した日を処理開始の目安と

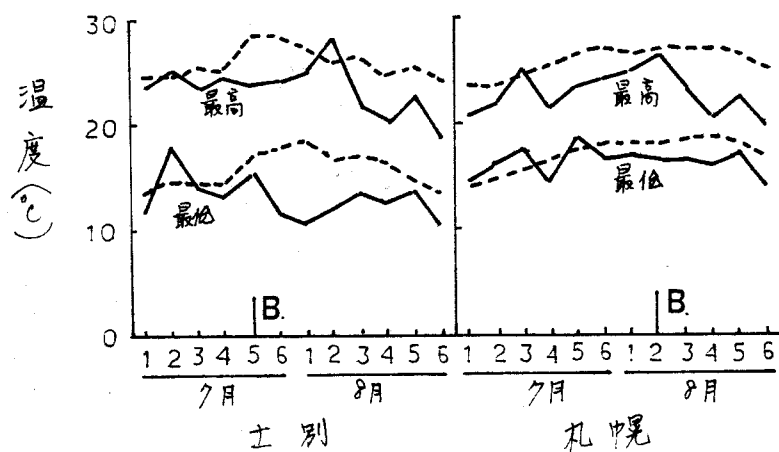


した（本章ではこの時期を穂孕期と記す）。穂孕期に数十株の全茎について、止葉より1枚下位の葉の葉耳と接している止葉の位置にマジックインクで印を付け、後日、穂孕期における各茎の葉耳間長が測定できるようにした。また、穂孕期に8株を抜き取り、葉耳間長 $70 \sim 71$  cmの1次分けつならびに株全体の葉身の乾物当たり全窒素含有率（N%）を測定した。1977年はこのほかに葉耳間長 $70 \sim 71$  cmの1次分けつの稈と葉鞘を込みにしたもの（稈+葉鞘）および穂についても測定した。窒素の分析はセミミクロケルダール法で行った。

成熟期に8株を採取し、2株については全茎、残りの6株については1次分けつのみについて、穂孕期の葉耳間長別に稔実歩合（100-不稔歩合）を求めた。なお、本調査では、前章第1節と同様80%エタノールで脱色後1%ヨードヨードカリ（ $I_2-KI$ ）<sup>99)</sup>液で胚乳が染色されないものを不稔とした。収量は中庸が生育を示した1~2 m<sup>2</sup>を刈り取り、粒厚1.8 mm以

上の精玄米重で示した。

一方、この実験を続行中の1980年に、北海道士別地区農業改良普及所（士別）におけるしおかりと北海道農業試験場（札幌）におけるイシカリに穂孕期から開花期にかけての低温による不稔が発生した。この年の士別と札幌における7、8月の気温は第26図に示す通りである。この2カ所の水稻は、それぞれ別の目的で栽培されたものであるが、窒素の施肥量を変えて栽培されていたので、これらの稲についても穂孕期葉身 $14\%$ ならびに全茎の



第26図 士別および札幌における半旬別最高・最低気温

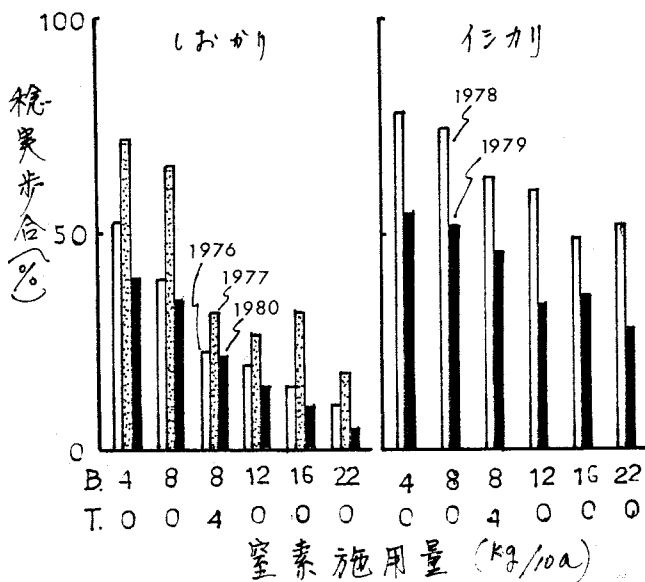
注) ——— 1980年    - - - - - 平年

B: 穂孕期

平均穂実歩合を調査した。士別のしおかりは7月24日、札幌のイシカリは8月8日にそれぞれ2～4株を抜き取り、全茎の葉身を窒素分析に供した。また、下穂調査は成熟期に2～4株を採取し、透視法で行った。

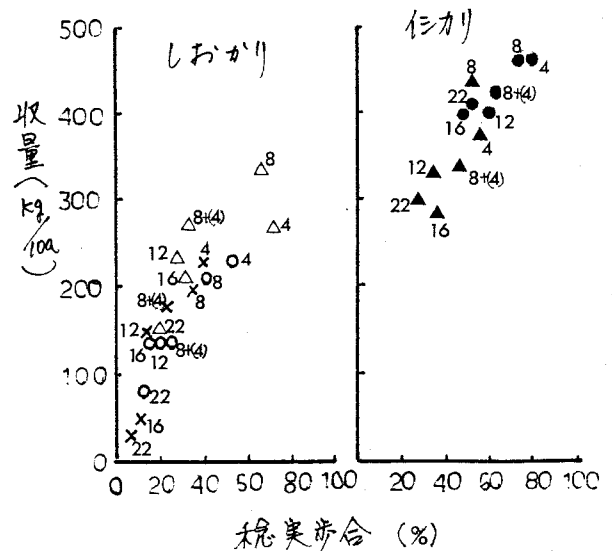
## 結 果

第27図に窒素施用の穂実歩合に及ぼす影響



第27図 窒素施用が穂実歩合に及ぼす影響

B. 基肥 T. 穎花分化期追肥  
冷温処理しない区の穂実歩合はいずれも85%以上



第28図 穂実歩合と収量との関係

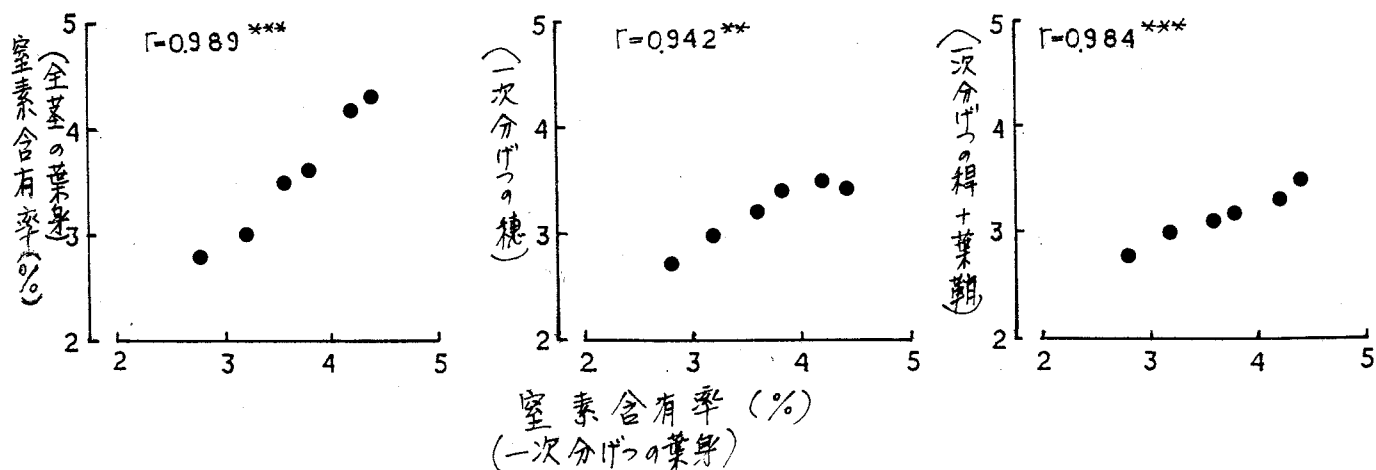
注 図中の数字は基肥窒素量  
( )は穎花分化期追肥窒素量 (kg/10a)

しおかり : ○ 1976 ( $r=0.952^{**}$ ) △ 1977 ( $r=0.787^{*}$ )  
× 1980 ( $r=0.924^{**}$ )  
1976, 1977, 1980 ( $r=0.864^{***}$ )  
イシカリ : ● 1978 ( $r=0.921^{**}$ ) ▲ 1979 ( $r=0.796^{*}$ )  
1978, 1979 ( $r=0.901^{***}$ )

有意水準 : \* 10% \*\* 1% \*\*\* 0.1%

を示した。各年とも穂実歩合は窒素施用量の多いほど低下した。施用量が同一の場合は、追肥区よりも基肥区において穂実歩合は低下した。また、第28図に穂実歩合と収量との関係を示した。各年とも穂実歩合と収量との間に正の相関が認められた。その相関は年次を込みにした場合にも認められた。

成分分析による栄養診断においては、分析の部位がまず問題となる<sup>12, 37, 93)</sup>。第29図は穂孕期の稲体各部における窒素含有率の相関を示したものである。葉身、穂、「稈+葉鞘」の中では、葉身 $\%$ が窒素施用量の変化に最もよく



第29図 穂孕期の稲体各部における窒素含有率の相関

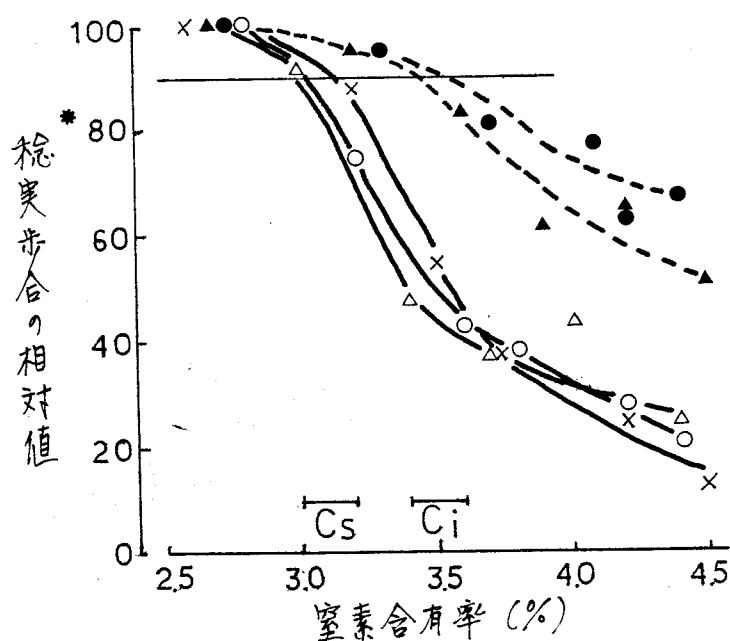
注) 有農水準

\*\* 1%

\*\*\* 0.1%

感応し、かつ他部位の $N\%$ とも有意な正の相関を示した。また、この材料では、1次分けの葉身 $N\%$ と株全体の葉身 $N\%$ はほぼ等しかった。したがって、本研究では、1次分けつまたは全茎の葉身を窒素分析に供した。

第30図に全茎の穂孕期葉身 $N\%$ と穂実歩合の相対値（穂孕期葉身 $N\%$ が最小の区の穂実歩合



第30図 穂孕期葉身窒素含有率と穂実歩合の相対値との関係

注) 窒素含有率が最小の区の穂実歩合は全茎について測定された。

しおかり: —○— 1976 —△— 1977 —x— 1980

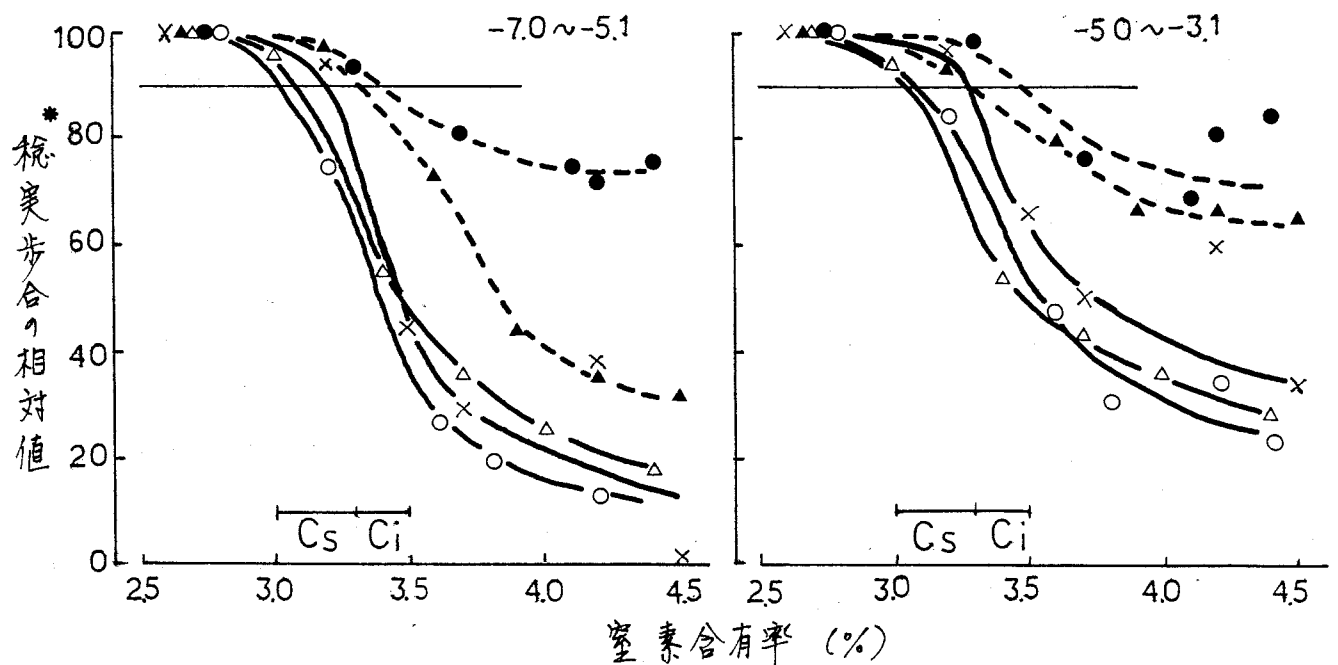
いしかり: ---●--- 1978 ---▲--- 1979

——: 限界窒素含有率 (Cs: しおかり Ci: いしかり)

\* : 窒素含有率が最小の区の穂実歩合を100とした時の各区の穂実歩合の比

歩合を100とした時の各区の穂実歩合の比)との関係を示した。穂実歩合の相対値は、いずれも穂孕期葉身 $N\%$ の増加にともなって初め緩やかに、その後急激に低下した。Ulrich<sup>192)</sup>

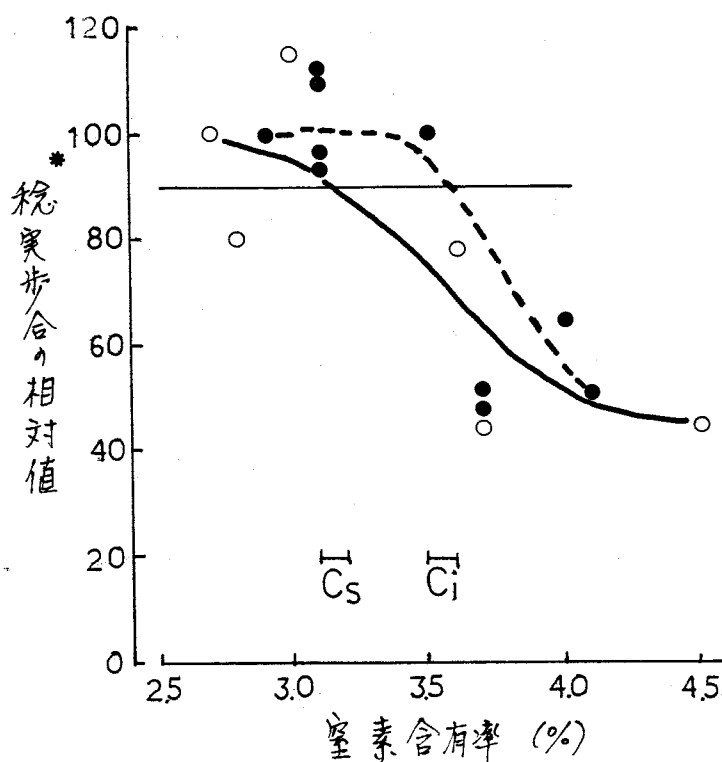
の方法にしたがって穂実歩合の相対値が90の穂孕期葉身 $N\%$ を穂孕期不穂に関する葉身限界 $N\%$ (以下、穂孕期葉身限界 $N\%$ と記す)とすると、それらはしおかりでは3.0~3.2%



第31図 穂孕期葉身窒素含有率と穂実歩合の相対値との関係

注) 窒素含有率ならびに穂実歩合は1次分げつについて測定された。  
 図中の数字は冷温処理開始時の葉身間長を示す(cm)。  
 その他、記号は第30図と同一

イシカリでは3.4～3.6%であった。また、第31図に葉耳間長の等しい1次分げっについて穂孕期葉身N%と穂実歩合の相対値との関係を示した。曲線の形状はいずれも第30図に類似しており、穂孕期葉身N%の増加にともなって穂実歩合の相対値は低下した。これらの曲線から求められる穂孕期葉身限界N%は、しおかりでは3.0～3.3%、イシカリでは3.3～3.5%



第32図 穂孕期葉身窒素含有率と穂実歩合の相対値との関係

注) 窒素含有率ならびに穂実歩合は全茎から測定された。

しおかり: —○— (土別・1980)      イシカリ: ---●--- (札幌・1980)

その他の記号は第30図と同一。

であつた。第32図は土別と札幌における穂孕期葉身 $N\%$ と稔実歩合の相対値との関係を示したものである。この場合も、稔実歩合の相対値は、穂孕期葉身 $N\%$ の増加にともなつて初め緩やかに、その後急激に低下した。これらの曲線から求められる穂孕期葉身限界 $N\%$ は、しおかりでは $3.1 \sim 3.2\%$ 、イシカリでは $3.5 \sim 3.6\%$ であつた。

### 考 察

穂孕期不稔が窒素多施によつて助長されることは、本実験においても認められた。穂孕期不稔が多窒素によつて助長されることについては、稲体の生理的狀態の変化以外に圃場条件下では、繁茂度の相違によつておこる微気象の影響や生育ステージのずれなどがかなりのウェイトで関与するものと想像されている。しかし、この実験では、ほぼ同一の生育ステージの稲が冷水によつて均一に処理されており、微気象や生育ステージの影響を受け



る余地は少ない。したがって、多窒素そのものが不稔発生を助長したものと考えられる。

各年の試験における収量は、第28図に示すように窒素施用の相違によってあらわれた稔実歩合の多少によって支配されていることが明らかである。

稲体の窒素栄養状態と穂<sup>孕</sup>期不稔との関連性については、樋口・太田<sup>(5)</sup>が東北の品種を用いて葉身 $N\%$ と不稔歩合との関係を実験し、不稔歩合は葉身 $N\%$ に対して正の相関を示すことを報告している。しかし、この実験ではプロットの数少なく、穂<sup>孕</sup>期葉身限界 $N\%$ は明らかでない。これを明らかにするためには、さらに多くの窒素水準、また、種々の環境条件のもとで水稻を栽培し、両者の関係を実験することが必要であろう。本研究では、上川農業試験場の圃場において6段階の窒素施用量で、また、年次を異にして栽培した水稻を穂<sup>孕</sup>期に異なる処理温度で精密に冷温処理して不稔を起させ、穂<sup>孕</sup>期葉身 $N\%$ と稔実

歩合の相対値との関係曲線を描いた。

全茎の穂孕期葉身 $N\%$ と稔実歩合の相対値との関係曲線から求められるしおかりおよびイシカリの穂孕期葉身限界 $N\%$ は、それぞれ $3.0 \sim 3.2\%$ 、 $3.4 \sim 3.6\%$ である。また、同じ材料について、葉目間長の等しい生育の揃った1次分けつの穂孕期葉身 $N\%$ と稔実歩合の相対値との関係曲線から求められるしおかりおよびイシカリの穂孕期葉身限界 $N\%$ は、それぞれ $3.0 \sim 3.3\%$ 、 $3.3 \sim 3.5\%$ である。全茎および1次分けつの曲線から得られた穂孕期葉身限界 $N\%$ は、品種ごとにはほぼ一致している。

1980年における札幌と士別の材料は、冷温処理によって求められた穂孕期葉身限界 $N\%$ が自然の冷温においても妥当かどうかを検討する良い材料と考えられる。この調査から求められる穂孕期葉身限界 $N\%$ は、第32図に示すようにしおかりでは $3.1 \sim 3.2\%$ 、イシカリでは $3.5 \sim 3.6\%$ であり、いずれも冷温処理によって求められた穂孕期葉身限界 $N\%$ の範囲内に

入っている。

したがって、穂孕期葉身限界 $N\%$ は以上の結果を総合して、しおかりでは $30\sim 33\%$ 、イシカリでは $33\sim 36\%$ とみてよいであろう。穂孕期葉身限界 $N\%$ に品種間差がみられるのは興味ある点であり、品種の耐冷性に関連させて今後さらに検討する必要があると考えられる。

## 第2節 葉身窒素含有率と葉色との関係

現地圃場における栄養診断には、まず第1に簡易、迅速性が要望される。葉色による窒素栄養の診断はこの要望に合致するものであるが、正確さと客観性に欠ける難点があった。しかし、最近、色票（富士カラー・スケール<sup>57 58</sup>）やグリーンメータなどが開発され、それらを用いてかなり容易に葉色診断ができるようになってきている。そこで、本節では、富士カラー・スケールを用いてどの程度の精度で葉身

窒素含有率を推定できるかを検討し、前節で求めた穂孕期葉身限界窒素含有率の葉色値を明らかにしようとした。

### 材料および方法

1979年から1981年までの3カ年間にわたって異なる圃場条件のもとで葉色の異なる3品種を基肥ならびに追肥窒素量を変えて栽培した。第7表-1, 2に各年の施肥条件、試験場所、ならびに供試品種を示した。なお、表示した以外の栽培管理は、各農業試験場および農家の標準耕種法に準じた。

葉色の測定は、各年とも穎花分化期および穂孕期に生育中庸な数株を選び、分けつ茎の最上位展開葉に色票を当て、1~3m離れて測定した（個葉測定法）。この方法で1区5枚以上（普通は10~20枚）を測定し、平均値で示した。1980年は、イシカリについて上記のように個葉についての測定を行う一方、最上位展開葉附近に色票を当て、約3m離れて

群落の葉色を測定した（群落測定法）。なお、  
両測定法とも、色票に示された1から7まで

第7表-1 施肥条件、試験場所別試品種

年次	区番号	窒素施用量(kg/10a)		その他
		基肥	追肥*	
1979	1	0	0	場所：上川農業試験場(旭川) 品種：イシカリ、しおか 基肥：硫酸、過磷酸石灰、塩化加里 追肥：硫酸 磷酸、加里は10a当たり8.6kgずつ 施用
	2	4	0	
	3	8	0	
	4	8	1	
	5	8	2	
	6	8	3	
	7	8	4	
	8	8	6	
	9	8	10	
	10	8	16	
	1	0	0	場所：上川農業試験場 品種：イシカリ、キタカリ 基肥：硫酸、過磷酸石灰、塩化加里 追肥：硫酸 磷酸、加里は10a当たり8.6kgずつ 施用
	2	0	4	
	3	4	0	
	4	4	4	
	5	8	0	
	6	8	4	
	7	12	0	
	8	12	4	
	9	12	0	
	10	16	4	
1980	11	0	0	場所：中央農業試験場(岩見沢) 品種：イシカリ、キタカリ 基肥：化成肥料 追肥：硫酸 磷酸、加里は基肥量に応じて変化
	12	0	3	
	13	3	0	
	14	3	3	
	15	6	0	
	16	6	3	
	17	9	0	
	18	9	3	
	19	12	0	
	20	12	3	
	21	0	0	場所：北海道農業試験場(札幌) 品種：イシカリ、キタカリ 基肥：化成肥料 追肥：硫酸 磷酸、加里は基肥量に応じて変化
	22	0	3	
	23	3	0	
	24	3	3	
	25	6	0	
	26	6	3	
	27	9	0	
	28	9	3	
	29	12	0	
	30	12	3	

注) \*：穎花分化期 約1週間前

第7表-2 施肥条件、試験場所ならびに供試品種

年次	区番号	窒素施用量(kg/10a)		その他
		基肥	追肥*	
1981	1	0	0	場所：上川農業試験場 品種：仁加利キタリ 基肥：化成肥料 追肥：硫酸 磷酸、加里は基肥量に応じて変化
	2	0	4	
	3	4	0	
	4	4	4	
	5	8	0	
	6	8	4	
	7	12	0	
	8	12	4	
	9	16	0	
	10	16	4	
	11	6	0	
	12	12	0	
	13	6	0	
	14	12	0	
	15	4	0	
	16	8	0	
	17	4	0	
	18	8	0	
	19	5	0	場所：農家水田(富良野) 品種：仁加利キタリ 肥料：化成肥料
	20	7	0	
	21	9	0	

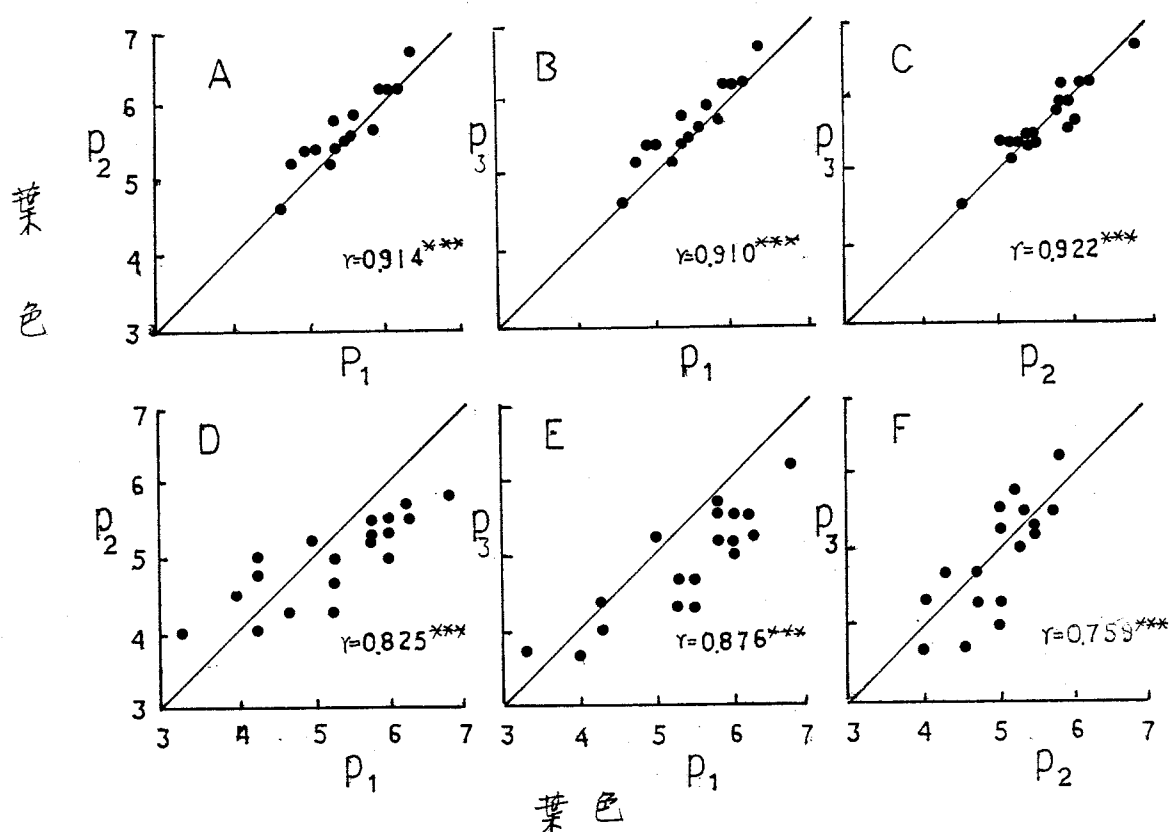
注) \* 穎花分化期約1週間前

の緑色値を中間値を0.5として13階級に分けて読み取った。また、読み取りは常に複数の人で行ない、平均値で示した。葉色測定後3株の生葉身を採取し、乾燥、粉碎後インフラライガーで全窒素を分析(北海道立中央農業試験場稲作部に依頼)し、乾物当たりパーセントで示した。

## 結 果

第33図に1980年の試験における3人の測定

者間の相関を示した。個葉測定法においても、群落測定法においても、どの測定者間にも有意な正の相関が認められたが、相関係数は総じて個葉測定法の場合に高く、葉色の読み取り値の個人差は個葉測定法の方が小さかった。



第33図 葉色の測定者間の相関

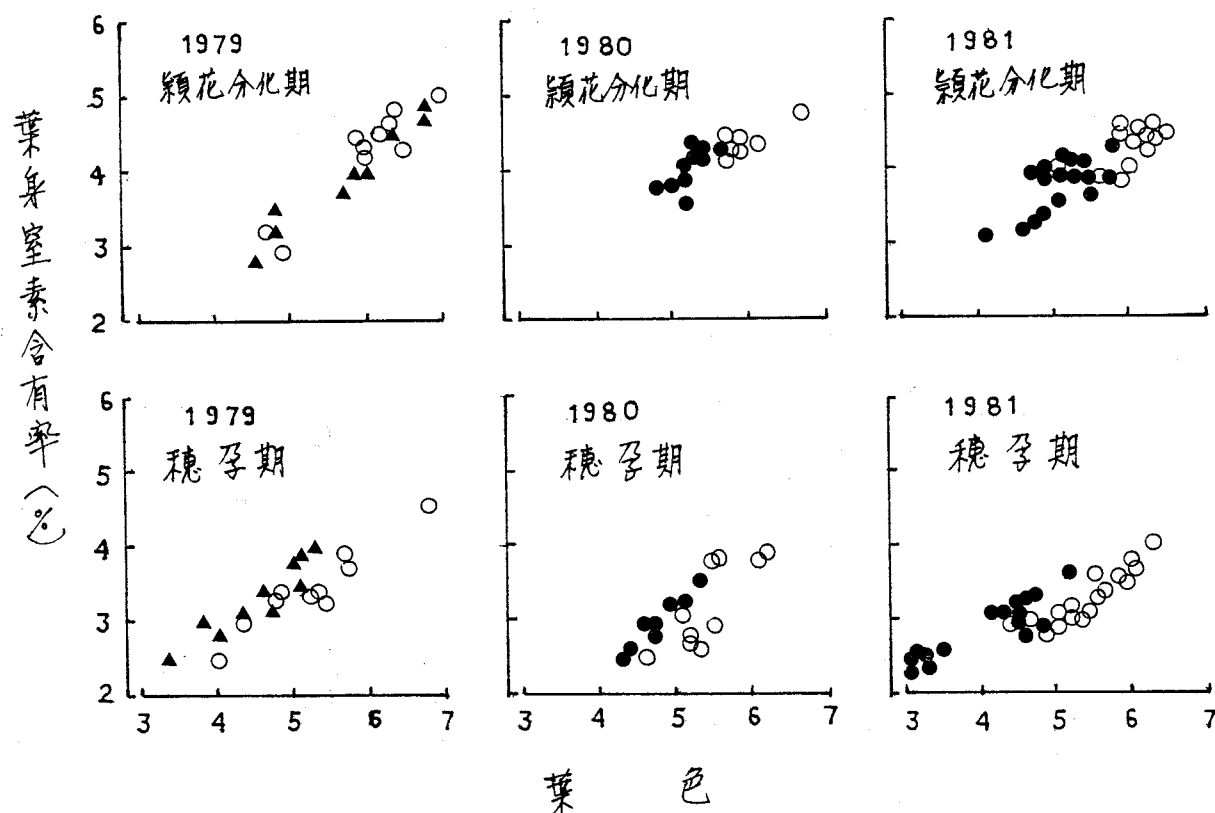
注) A～C: 個葉測定法

D～F: 群落測定法

P1, P2, P3: 測定者

\*\*\*: 0.1%水準で有意

第34図～38図は個葉測定法による葉色と葉身窒素含有率（葉身N%）との関係が、品種、生育時期、場所、栽培条件ならびに年次によってどのように変化するかを示したものである。品種については、第34図に示したようにしおかりとイシカリの間にはほとんど差は認められなかったが、イシカリとキタヒカリで

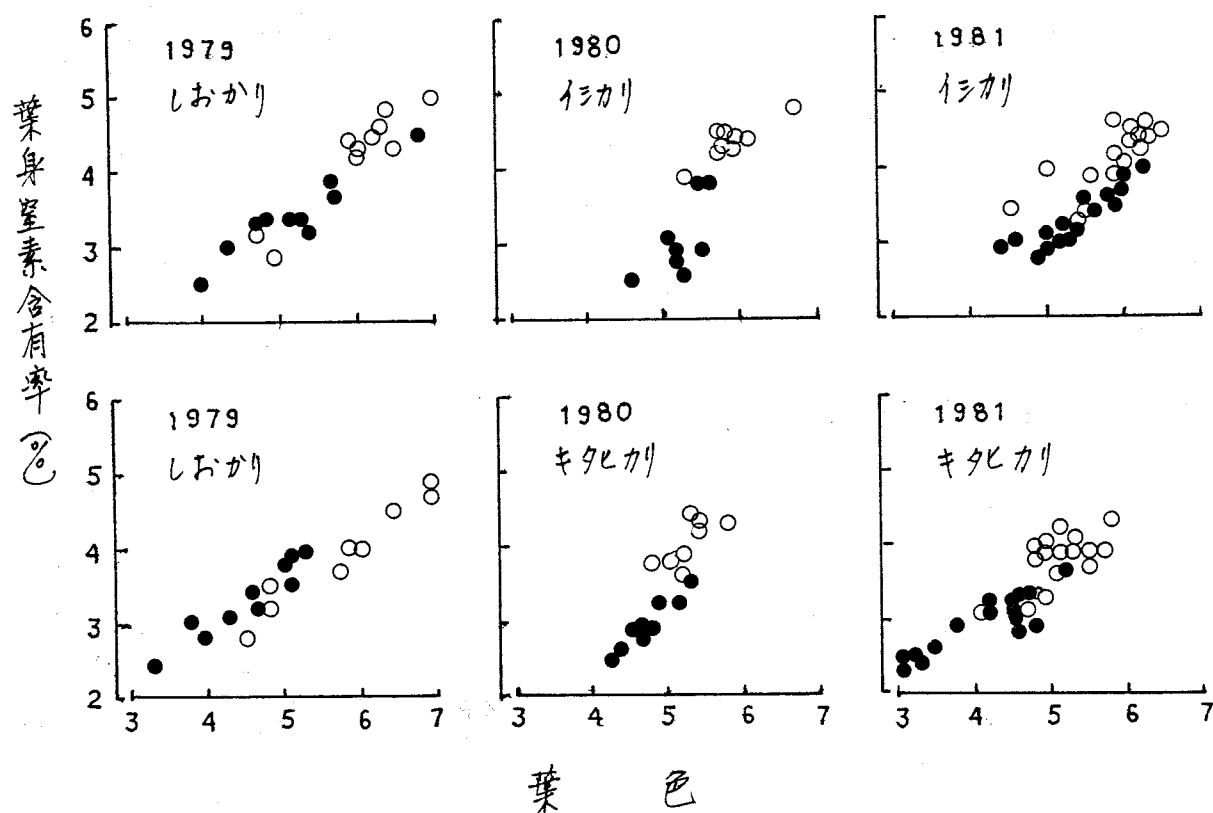


第34図 葉色と葉身窒素含有率との関係の品種間差異

○：イシカリ      ●：キタヒカリ      ▲：しおかり



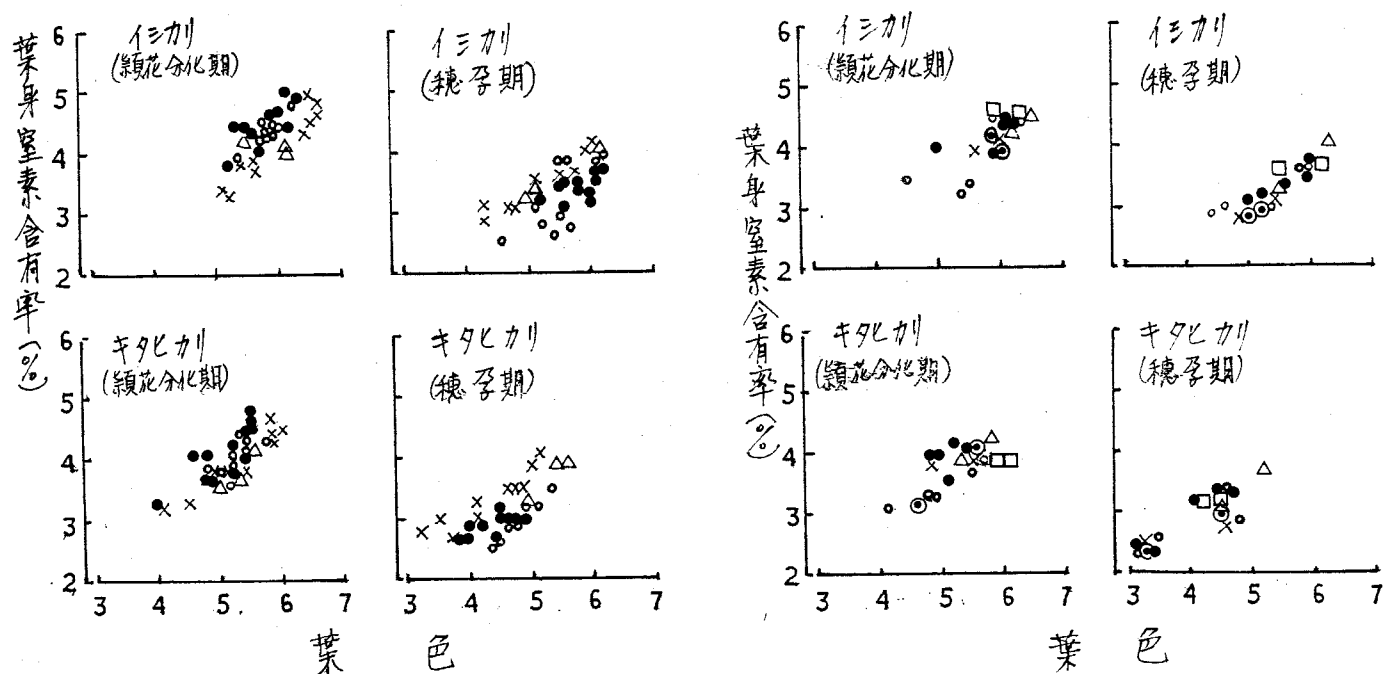
はイシカリの方が濃緑側に片寄る傾向が認められた。生育時期については、第35図に示したように1979年にはほとんど差が認められなかったが、1980年および1981年には穎花分化期の方が穂孕期よりも濃緑側に片寄る傾向が認められた。また、同一葉色でも、葉身N%は穎花分化期において高い傾向を示した。場



第35図 葉色と葉身窒素含有率との関係の生育時期による差異

注 ○ 穎花分化期 ● 穂孕期

所については第36図に示した。旭川，岩見沢および富良野にはほとんど差は認められなかったが，札幌では同一葉色でも，他の場所に比べて葉身N%が高い傾向を示す場合と，逆に低い傾向を示す場合があった。栽培条件については，第37図に示したようにプロットの数が少ないので断定できないが，本試験の範



第36図 葉色と葉身窒素含有率との関係の場所による差異

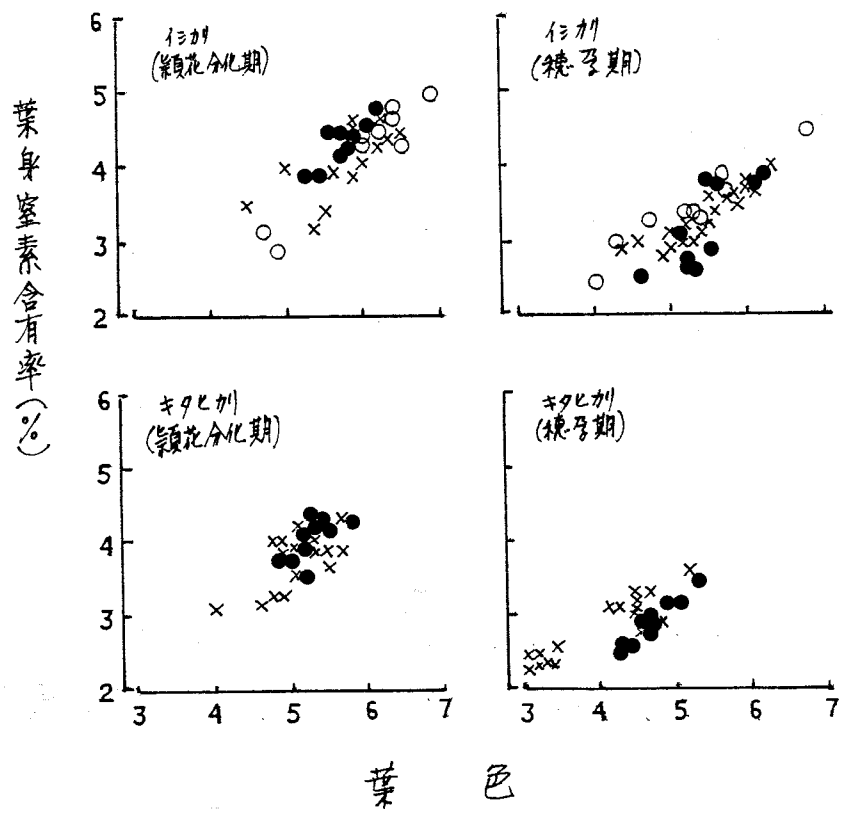
注 ○ 上川農業試験場(旭川)  
● 中央農業試験場(岩見沢)  
× 北海道農業試験場(札幌)  
△ 農家水田(富良野)

第37図 葉色と葉身窒素含有率との関係の栽培条件による差異

注 ○ 化成肥料全量基肥 ● 硫酸追肥  
△ 遮光 □ 堆肥施用  
◎ 塩安過磷酸石灰，塩化加里全量基肥  
× 硫酸過磷酸石灰，硫酸加里全量基肥

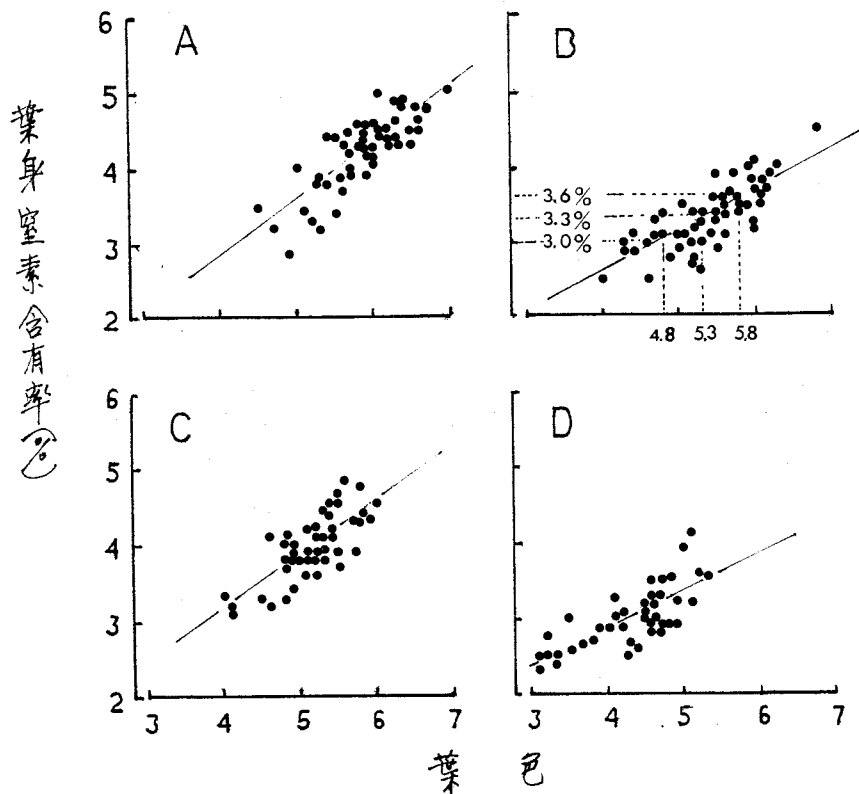
用では、ほとんど差は認められなかった。年次については、第38図に示したようにキタヒカリの穂孕期のほとんど同一葉色でも、1981年の葉身窒素含有率が1980年のそれよりも高い傾向を示す場合もあったが、その他については、ほとんど差は認められなかった。

以上の検討において、明確な差が認められ



第38図 葉色と葉身窒素含有率との関係の年次による差異

注) ○ 1979 ● 1980 × 1981



第39図 場所, 栽培条件, 年次を込みにした場合の葉色と葉身堅素含有率との関係

- A: しおかり, いしかり, 穎花分化期:  $Y=0.784X-0.150$   
 $r=0.801^{***}$   
 予測値の90%信頼域  $\pm 0.48 \sim \pm 0.53\%$
- B: しおかり, いしかり, 穂孕期:  $Y=0.538X+0.444$   
 $r=0.757^{***}$   
 予測値の90%信頼域  $\pm 0.47 \sim \pm 0.49\%$
- C: キタヒカリ, 穎花分化期:  $Y=0.689X+0.411$   
 $r=0.780^{***}$   
 予測値の90%信頼域  $\pm 0.44 \sim \pm 0.52\%$
- D: キタヒカリ, 穂孕期:  $Y=0.449X+1.059$   
 $r=0.703^{***}$   
 予測値の90%信頼域  $\pm 0.46 \sim \pm 0.50\%$
- Y: 葉身堅素含有率      X: 葉色      \*\*\*: 0.1%水準で有意

なかつた場所，栽培条件，年次を込みにして，品種別，生育時期別に葉色と葉身 $N\%$ との関係を示すと第39図のようになる。この図の各グラフにおける回帰係数の有意差検定をしたところ，AとB，CとDはそれぞれ有意水準5%で差が認められた。また，AとC，BとDについても，それぞれ有意水準5%で差が認められた。いずれのグラフも相関係数は $0.1\%$ 水準で有意であったが，葉色による葉身 $N\%$ の推定の精度はおおよそ $0.4\sim 0.5\%$ であった。

前節で明らかにしたしおかりおよびイシカリの穂孕期葉身限界 $N\%$ （しおかり： $3.0\sim 3.3\%$ ，イシカリ： $3.3\sim 3.6\%$ ）に対応する葉色値は，第39図のBの回帰式からそれぞれ $4.8\sim 5.3$ ， $5.3\sim 5.8$ と計算された。

## 考 察

本研究に用いた色票は，水稻葉の光学的特性をもとに新しく開発されたもので，従来の色票に比べて使い易く作られており，すでに，

この色票を用いて単位面積当たりの粒数の推定や倒伏<sup>23, 33, 42, 43, 57, 58, 92)</sup>の診断に利用する試みもおこなわれている。

葉色の測定には、個葉測定法と群落測定法の2通りがあるが、どちらで行うかは測定の精度や難易を勘案して決定すべきである。測定の操作は群落測定法の方が簡便であるが、第33図に示すように葉色の読み取り値の個人差は個葉測定法よりも大きい。したがって、できるだけ精度の高い診断が要求される穂孕期耐冷性の診断においては、測定にやや時間を要しても個葉測定法で行った方がよいと考えられる。個葉測定法における測定葉位は、最上位展開葉がよい。下位葉の場合、葉色に濁りがあり、しばしば測定が困難である。

葉色と葉身 $\text{N}\%$ との関係は、品種や生育の時期、場所などを込みにして一つの回帰式で示されることが望まれる。しかし、品種や生育時期、場所などによって葉色と葉身 $\text{N}\%$ の関係が変化するとすれば、それぞれについて

回帰式を求めなければならぬのでその点をよく検討しておく必要がある。まず、品種についてみると、イシカリはキタヒカリに比べて明らかに濃緑側に片寄っており、また、葉色が同じでも葉身 $N\%$ が異なる場合があることから、これらの品種は別の回帰式で示した方がよいと考えられる。しおかりについては単年度の結果であるが、イシカリと込みにしてよいと考えられる。生育時期については、穎花分化期は穂孕期に比べて濃緑側に片寄っており、また、葉色が同一でも穎花分化期の葉身 $N\%$ が穂孕期のそれよりも高い傾向が認められるので、穎花分化期と穂孕期は別の回帰式を求めた方がよいと考えられる。場所については、札幌のプロットが他の場所に比べて異なる傾向を示している。しかし、同一の葉色に対して葉身 $N\%$ が他の場所よりも高い場合と低い場合があり、一定の傾向を示していない。したがって、精度はやや落ちるであろうが場所は込みにして扱ってよいと考えら

れる。栽培条件については、施肥法や肥料成分などが変わっても同一の回帰式で示されると思われる。葉色と葉身 $N\%$ の關係に著しい年次間差があると、その年ごとに回帰式を求めねばならず、色票を窒素栄養診断に利用することが困難となる。キタヒカリの穂孕期において、1981年がやや異なる傾向を示しているが、その他については年次間差はほとんど認められない。したがって、年次を含みにして同じ回帰式を適用してよいであろう。

以上、項目ごとの検討において明瞭な差が認められなかった場所、栽培条件、年次を含みにすると、第39図に示すように品種と生育時期について4つの回帰式にまとめられる。各式の回帰係数にはそれぞれ有意な差があり、含みにして扱うことはできない。これらの式による葉身 $N\%$ の推定の精度はおよそ0.4~0.5%である。 $N\%$ の推定の精度としてはあまり高いとは言えないが、現地圃場において行う診断には、十分役立つと考えられる。同一場



所の、同一品種というように条件をさらに限定すれば、葉身 $N\%$ の推定の精度はさらに高まるであろう。

しおかりおよびイシカリの穂孕期葉身限界 $N\%$ の葉色値は、計算上は、それぞれ $4.8 \sim 5.3$ ,  $5.3 \sim 5.8$ である。しかし、回帰式による葉身 $N\%$ の推定の精度があまり高くないことを考慮すると、現地圃場における診断には、それぞれの上限值に最も近い葉色値（しおかり： $5.5$ , イシカリ $6.0$ ）を穂孕期葉身限界 $N\%$ の葉色値とみなせばよいと考えられる。

### 第3節 耐冷栽培における葉色の推移

しおかりとイシカリについては、葉色と葉身窒素含有率との関係は、場所、栽培条件、年次を込みにして生育時期ごとに同一の直線回帰式で示すことができ、穎花分化期および穂孕期における稲の窒素栄養状態を葉色によって診断できることを明らかにした。そこで、

上記2品種について、実際に窒素分施栽培を行い、その結果にもとづいて耐冷栽培の葉色推移曲線を作成しようとした。

### 材料および方法

窒素分施栽培（分施区）は、藤村<sup>21)</sup>がとりまとめた方法に準じて行った。すなわち、初期生育促進対策として各年ともポット育苗法<sup>注4)</sup>で養成した4葉苗（成苗ポット苗）を5月

---

注4) 成苗を機械移植するために最近開発された育苗法である。<sup>19)</sup>  $6/9\text{ mm} \times 3/5\text{ mm}$ の薄いプラスチック板に448個の円型のポット（上径 $16\text{ mm}$ 、底径 $13\text{ mm}$ ）が $19\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 間隔で成型されており、専用播種器によってポット当たり3~4粒の催芽粒が播種される。ポットの底には小孔があり、根は小孔を通して床土にまで伸長することができる。本田初期生育は稚苗、中苗に比べて明らかに良好である。

26日～27日に本田に移植した。また、生育初期は浅水（3～5 cm）に管理し、水温上昇に努めた。分施肥区における窒素の施用量および施用時期は第8表に示す通りである。

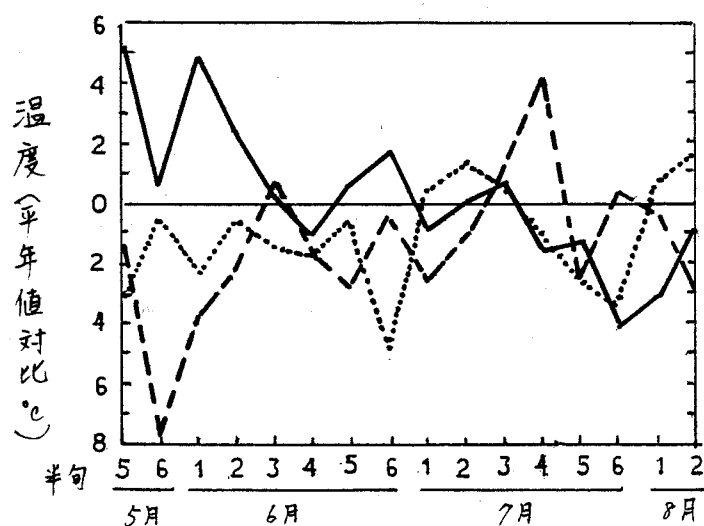
第8表 窒素の施用量および施用時期

区名	年次	基肥 (kg/10a)		追肥 (kg/10a)		堆肥 (t/10a)	備考
		耕起前(全量)	植込時	穂孕期			
分施肥区	1980	8	0	4	0	品種：仁科、しおかり 肥料：窒素は硫酸 を用いた。	
	1981	4	4	4	0		
	1982	6	2	4	1.2		
対照区	1980	12	0	0	0	磷酸、加里は加磷酸石灰 塩化加里を用い基肥として 10a当たり成分量で8.6kg ずつ施用	
	1981	12	0	0	0		
	1982	12	0	0	0		

一方、対照区は農家の多肥栽培法に準じた。すなわち、第8表に示したように10a当たり12kgの窒素を耕起前に全量全層施用し、堆肥は施用しなかった。各年とも第1編、第2章、第1節に示した箱育苗の方法に準じて3葉苗（中苗）を養成し、分施肥区と同一日に本田に移植した。湛水深は常時5～10 cmとした。栽植密度は成苗ポット苗は1株3個体、中苗は1株4個体、いずれもm<sup>2</sup>当たり25株とした。移植後出穂までの生育各期（移植期、分け

つ盛期，穎花分化期，最高分けっ期，穂孕期，出穂期）に茎数ならびに葉色を測定した。葉色の測定は本章第2節に示した個葉測定法によって行った。成熟期に収量ならびに収量構成要素を調査した。収量は $2\text{ m}^2$ を刈り取り，粗厚 $1.8\text{ mm}$ 以上の精玄米重で示した。穂実歩合は透視法により，また，登熟歩合は比重 $1.06$ の塩水選を行ってそれぞれ算出した。精玄米千粒重は水分含有率 $16\%$ に換算して示した。出穂期は全茎の $50\sim 60\%$ が出穂した日とし，観察によって判定した。

3カ年の気温は第40図に示す通りである。



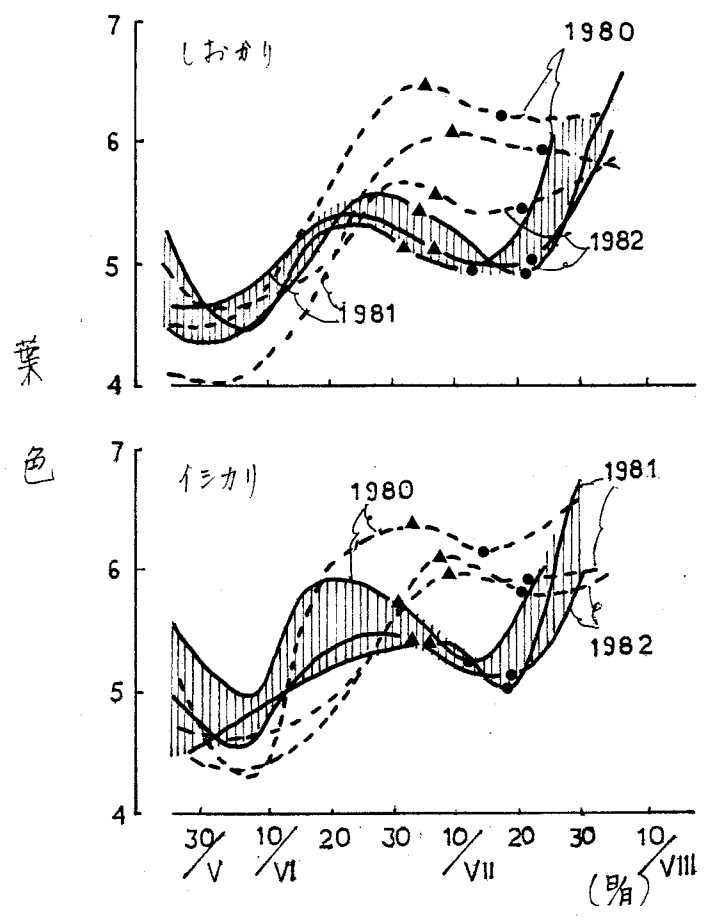
第40図 半旬別平均気温

注) — 1980    ---- 1981    ..... 1982

1980年は7月第5半旬までは平年並みないしは高温多照の日が多かったが、7月第6半旬から8月第2半旬にかけて冷温が持続し、最低気温が $10^{\circ}\text{C}$ を下まわる日もあった。水稻は初期の生育が特に旺盛であった。1981年は7月第4半旬に一時高温多照であった以外はおおむね平年よりも冷温で、とくに、5月下旬から6月上旬の平均気温は著しく低かった。水稻は活着、初期生育が著しく劣り、出穂期は平年よりも遅延した。1982年は6月第6、7月第5、第6半旬にやや強い冷温があった。それ以外の時期も平年よりも冷温の場合が多く、3ヵ年のうち、穂実歩合が最も低下した年次であった。

## 結 果

第41図にしおかりおよびイシカリの葉色推移曲線を示した。分施区、対照区とも、年次によって葉色推移曲線は異なったが曲線のパターンには毎年明瞭な区間差が認められた。



第41図 栽培条件が葉色推移に及ぼす影響

分施肥区 ————— 対照区  
 耐冷栽培における葉色の推移  
 ▲: 穎花分化期      ●: 穂孕期

分施肥区における穂孕期の葉色値は、3カ年ともそれぞれの品種の穂孕期葉身限界窒素含有率の葉色値（しおかり：4.8～5.3，イシカリ：5.3～5.8）の上限を下まわったが、対照区では3カ年ともそれを上まわった。

第9表は収量ならびに収量関連形質を示し

第9表 収量、収量構成要素、有効茎終止期ならびに出穂期

品種	年次	区名	収量 (kg/10a)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	粒数 (% <sup>10</sup> /m <sup>2</sup> )	登熟歩合 (%)	精玄米 千粒重 (g)	検実歩合 (%)	有効茎 終止期 (月・日)	出穂期 (月・日)
ほかり	1980	分施	557(99)	510	3.0	82.2	21.3	91.8	6・29	7・26
		対照	565(100)	530	3.3	80.3	21.1	92.7	6・29	7・30
	1981	分施	508(104)	515	3.3	75.3	21.3	91.8	7・3	8・6
		対照	490(100)	512	3.2	70.1	20.8	88.8	7・4	8・10
	1982	分施	567(101)	522	3.2	77.0	21.9	87.3	7・1	8・2
		対照	560(100)	513	3.2	72.1	21.7	81.2	7・2	8・6
ほかり	1980	分施	575(97)	621	3.2	82.2	22.4	94.1	6・29	7・24
		対照	590(100)	600	3.5	75.0	21.7	92.7	6・29	7・28
	1981	分施	550(107)	529	3.2	79.0	22.3	91.2	7・1	8・3
		対照	514(100)	534	3.2	70.8	22.2	91.8	7・3	8・7
	1982	分施	663(107)	615	3.5	81.3	22.5	88.7	6・29	7・29
		対照	619(100)	603	3.4	79.4	22.0	83.7	6・30	8・2

注) ( ): 対照区を100とした時の比率

たものである。1980年は対照区の方が分施区に比べて増収したが、1981年および1982年はいずれも分施区において増収した。1980年および1981年の検実歩合には明瞭な区間差は認められなかったが、1982年の検実歩合は、分施区において数パーセント高かった。登熟歩合、精玄米千粒重、有効茎終止期ならびに出穂期は、いずれも分施区において増加または促進される傾向を示した。穂数ならびに1m<sup>2</sup>当たり粒数は、分施区において増加する場合

と逆に低下する場合があり、一定の傾向は認められなかった。

## 考 察

穂孕期の葉色が穂孕期葉身限界 $N\%$ の葉色値を下まわる葉色曲線は理論上は無数に考えられるが、本試験では、しおかりおよびイシカリについてそれぞれの穂孕期葉身 $N\%$ の上限値を下まわる3本の曲線を窒素分施栽培によって実証的に示した。

窒素分施栽培は冷害対策技術の一つとして北海道において古くから研究されてきたものであるが、このような葉色推移曲線における収量性についてはさらに検討しておく必要がある。分施区の収量は、1980年を除いていずれも対照区より増加している。1981年は生育初期の冷温による出穂遅延によって登熟歩合が低下し、収量も低下したが、分施区における減収率はこうした年次において低い。これは、分施区において有効茎終止期、出穂期



が促進されることと密接な関係があると考えられる。また、1981年のしおかり、1982年のイシカリのように、分施区において $m^2$ 当たり収量が増加している場合でも、分施区の登熟歩合が高いことが注目される。1982年における稔実歩合が $\%$ 台に低下したのは、おそらく、穂孕期冷温によるものと思われる。この年の稔実歩合は両品種とも分施区において多少高くなっている。以上の事実は、こうした葉色推移曲線において、穂孕期冷温条件を含めて種々の気象条件のもとで、分施区が対照区に比べて安定して多収をあげることとを示すものであろう。

したがって、耐冷栽培の葉色推移曲線は、第41図の斜線のように示される。斜線の部分は、3ヵ年の曲線を総合してやや模式化して示したものであるが、上川農業試験場圃場において実際に描き得る葉色推移曲線をおおむね包括していると考えられる。この曲線のパターンは、対照区のそれと穎花分化期以降に

において明らかに異なっている。したがって、穎花分化期以降の葉色推移をみることによって穂孕期における窒素過剰状態を大まかに診断することが可能であると考えられる。今後は、地域ごと、圃場ごとにこうした研究を積み重ね、さらにきめ細かい診断指標を作成する必要がある。

#### 第4節 小括

穂孕期不稔に関する窒素栄養の診断指標を明らかにしようとした。まず、穂孕期葉身限界窒素含有率を実験的に究明し、次いで、その値を葉色によって迅速かつ早期に診断する方法について検討した。

1. 穂孕期葉身限界窒素含有率は、しおかりでは3.0～3.3%、イシカリでは3.3～3.5%であった。

2. 葉色と葉身窒素含有率との間には、品種ごと、生育時期ごとに、場所、栽培条件、年次を込みにして、0.1%水準の有意な正の相

関が認められた。穎花分化期および穂孕期における回帰式は、それぞれ次の通りである。  
 すなわち、しおかり・イシカリ、穎花分化期： $Y = 0.784X - 0.150$ ，穂孕期： $Y = 0.538X + 0.444$ ，キタヒカリ、穎花分化期： $Y = 0.689X + 0.411$ ，穂孕期： $Y = 0.449X + 1.059$ ，ただし、 $Y$ ：葉身窒素含有率， $X$ ：葉色（最上位展開葉），予測値の信頼域は各式とも0.4～0.5%であった。

3. しおかりおよびイシカリにおける穂孕期葉身限界窒素含有率に対応する葉色値は、それぞれ4.8～5.3，5.3～5.8であった。ただし、現地圃場における診断においては、それぞれの上限值に最も近い色票の読み取り値（しおかり：5.5，イシカリ：6.0）を穂孕期葉身限界窒素含有率の葉色値とみなせばよい。

4. しおかりおよびイシカリを供試して上川農業試験場圃場において窒素分施栽培を行い、それにもとづいて耐冷栽培の葉色推移曲線を策定した。この葉色推移曲線を指標にして、穎花分化期以降の葉色推移を見ることに

よって穂孕期における窒素過剰状態を大まかに診断することが可能である。

### 第3章 穂孕期の冷温による不稔に対する 堆肥施用の効果

生育各期の耐冷性を高めるための方法として古くから奨励されてきたものに堆肥施用がある<sup>18, 45, 46)</sup>。堆肥施用はかつての米作コンクール上位入賞者にみられた共通の技術要因であり、安定多収に対して重要な役割を果たしている<sup>17, 18, 29, 70, 99)</sup>とされているが、穂孕期不稔に対する効果については実験的根拠はほとんどなく、今一つはっきりしないところがある。穂孕期不稔に対する堆肥施用の効果を明確にするためには、単に、冷害年次の事例を調査するだけでなく、堆肥連用水田と堆肥無施用水田で栽培された水稻を穂孕期に精密に冷温処理して不稔を起<sup>か</sup>こさせ、実験的に研究することが必要である。しかし、このような研究

は、人工気象室を用いたポット試験に期待することはできないし、圃場試験でもこうした目的の研究はまったく行われていない。

そこで、本章では、堆肥施用の効果を圃場試験によって究明し、水稻の形態と機能との関連性について検討した。

## 第1節 稔実歩合に対する効果

稔実歩合に対する堆肥施用の効果を明らかにしようとした。

### 材料および方法

堆肥連用水田（堆肥区）は次のようにして設定した。1975年4月に上川農業試験場の水田40 m<sup>2</sup>から作土15 cmを取り除き、そのあとに、近接する農家の堆肥連用水田（主として馬小屋に敷いた稲わらを堆積して腐熟させたものを1950年頃から毎年10 a当たり約1 tを施用している）から得た等量の作土を移し入れた。

この年から上川農業試験場で生産された堆肥（稲わらと畦畔雑草を堆積して腐熟させたもの）を毎年10a当たり12t施用した。ただし、1980年は水分含量の少ない生わら同様の未熟堆肥であった。

一方、堆肥無施用水田（無堆肥区）は1969年までは数年おきに若干の堆肥が施用されていたが、1970年以降は堆肥も生わらもいっさい施用しなかった。土壌は、堆肥区および無堆肥区とも、排水良好（1日当たり減水深が15～25mm）な中粗粒褐色低地土である。両区における耕起前の土壌の理化学性は第10表に示す通りである。

第10表 耕起前の土壌の理化学性(1981)

区 別	土層 (cm)	P H		3相組成(%)			30°C・28日間の NH <sub>4</sub> OHの生成量(mg)		乾土効果
		H <sub>2</sub> O	KCl	固相	液相	気相	乾土	湿土	
無堆肥区	0～10	5.8	4.6	37.5	57.2	5.3	13.3	3.1	10.2
	10～20	5.9	4.7	34.2	56.0	9.8	11.6	2.9	8.9
堆肥区	0～10	5.8	4.5	38.4	53.1	8.5	17.1	4.2	12.9
	10～20	5.9	4.6	36.6	52.8	10.6	15.2	3.9	11.3

注) 降雨後6日目に土壌を採取した。

1975年は、両区とも化成肥料を用いて窒素、  
リン酸、加里をそれぞれ10a当たり8, 8, 6  
kg施用した後、ロータリー式耕耘機で深さ15  
cmに耕起し、上川農業試験場の標準的耕種法  
に準拠した栽培のもとで生育状況を予備的に  
観察した。

翌1976年から6ヵ年間、前章第1節で述べ  
た方法に準じて毎年1品種を栽培し、これを  
無堆肥区とした。1976, 1977および1980年はし  
おかり、1978および1979年はイシカリ、1981  
年はキタヒカリを供試した。堆肥区の窒素肥  
料は無堆肥区同様硫酸を用い、10a当たり4  
および8kgを全量基肥とした。1977年には、  
さらに基肥8kgに籾花分化期追肥4kgの区を  
加えて計3区とした。いずれも各施肥区毎に  
2区ずつを設け、一方は冷温処理、他方は常  
温とした。

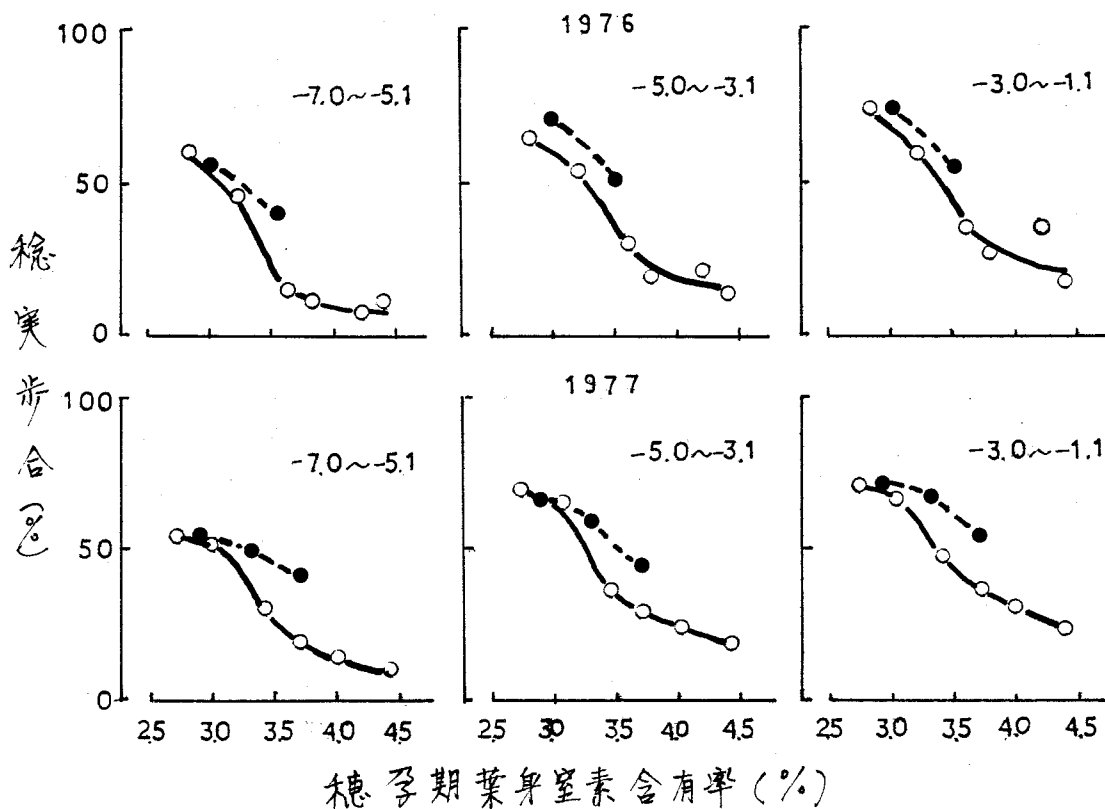
冷温処理は、各施肥区とも水深を30<sup>cm</sup>に設  
定し、1976, 1977, 1979および1981年は15<sup>°C</sup>・  
5日間、1978および1980年は13<sup>°C</sup>・3日間行

った。また、冷温処理は全区一律に穂孕期(全茎の約10%の茎の葉耳間長がプラスに達した日)に開始し、各区とも数十株の全茎につきその日の葉耳間長を記録する一方、葉耳間長7.0~7.1 cmの1次分げっにおける葉身窒素含有率(葉身N%)を測定した。窒素の分析はセミミクロケルダール法で行い、含有率は乾物当たりパーセントで示した。穂実歩合(100-不穂歩合)の調査は成熟期に行った。本章では、第1章と同様80%エタノールで脱色後、1%のI<sub>2</sub>-KI液で胚乳が染色されないものを不穂とした。

## 結 果

第42図は1976および1977年の成熟株について、葉耳間長が等しい1次分げっにおける穂実歩合を比較したものである。穂実歩合は堆肥区も無堆肥区も葉身N%が高いものほど低下した。葉身N%が3%程度では両区の穂実歩合に大差はなかったが、それよりも高い場





第42図 穂実歩合に及ぼす堆肥施用の効果

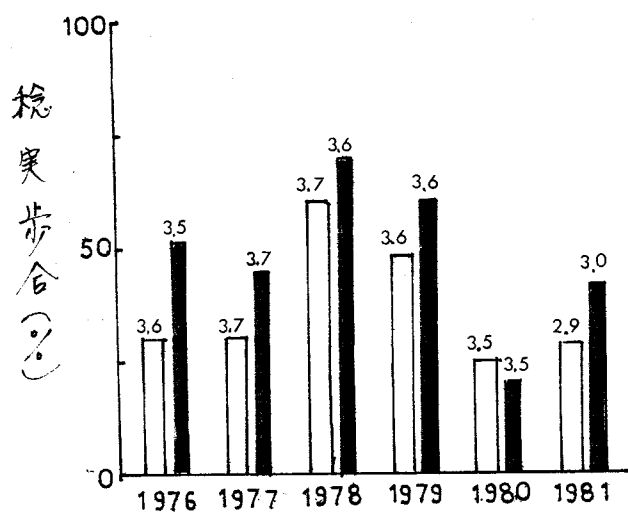
注) ○ 無堆肥区 ● 堆肥区

図中の数字は穂孕期(冷温処理開始時)の葉身間長を示す(cm)。

合には明瞭な差が認められ、堆肥区の穂実歩合は無堆肥区のそれよりも高かった。

1978～1981年の結果については第43図に示した。この図で明らかなように、ほぼ等しい葉身N%で比較した場合、堆肥区の穂実歩合は、1980年を除いて、いずれも無堆肥区より

も高いことが認められた。



第43図 稈実歩合に対する堆肥施用の効果

注)  無堆肥区  堆肥区  
 図中の数字は稈実歩合率(%)を示す。  
 1976, 1977: しおかり 15℃・5日間処理  
 1978: いしかり 13℃・3日間処理  
 1979: いしかり 15℃・5日間処理  
 1980: しおかり 13℃・3日間処理  
 1981: きりかり 15℃・5日間処理

## 考 察

水田における堆肥の効果として重要なことは、まず、その窒素肥料的な効果である  
 (14, 82, 103, 107)

。堆肥の窒素的肥効は、堆肥の原材料や土壌条件などによって相違するが、例えば、高坂<sup>36)</sup>の報告では、稲わら堆肥10a当たり1

とは、面積当たり粒数確保の点からみて10a  
当たり約2kgの窒素量に相当しており、かな  
りの肥効を示している。化学肥料による窒素  
量にさらに堆肥による窒素量が加算されれば  
稲体の窒素含有率は高まり、穂孕期冷温によ  
る不稔発生が助長されるであろう。穂孕期不  
稔に対する堆肥施用の効果は、単に堆肥の施  
用量の多少のみに帰せられるものでないこと  
が容易に想像される。したがって、穂孕期不  
稔に対する効果をみる場合、堆肥の施用量や  
種類などに応じて堆肥区の窒素施用量を調節  
しなければならない。しかし、実際上は堆肥  
区と無堆肥区の窒素量を完全に一致させるこ  
とは困難なため、本研究では、穂孕期の稲体  
の窒素栄養状態（葉身N%）を基礎にして比  
較した。この比較の方が化学肥料の施用量を  
一定にして比較する方法に比べて堆肥そのも  
の効果をより容易かつ的確に示し得ると考  
えたからである。第42図に示すように、稔突  
歩合は堆肥区も無堆肥区も穂孕期葉身N%が

高いほど低下するが、堆肥区と無堆肥区は別の系列をなしている。すなわち、穂孕期の葉身N%が3%程度では両者の穂実歩合に大差はないが、それよりも高い場合には、堆肥区の穂実歩合は無堆肥区よりも明らかに高い。また、品種や温度処理条件を変えて行ったその他の年度の試験においても、ほぼ等しい葉身N%で比較した場合、堆肥区の穂実歩合は、1980年を除いて、いずれも無堆肥区よりも高いことが認められた。

したがって、穂孕期冷温による不穂は堆肥施用によって軽減されるとみなしてよいであろう。なお、1980年の試験において堆肥区の穂実歩合が無堆肥区のものよりも低下したのは、おそらく、施用した堆肥が生わら同様の未熟堆肥であったためと考えられる。

なお、以上の結果は排水良好な乾田タイプの水田において稲わら完熟堆肥（1980年を除く）を用いて行った実験によって得られたものであるが、これとは異なる条件でも有効か

どうか、有効とすればどのような条件で有効なのかについては十分明らかにされていない。堆肥施用効果発現の機作の解明を含め、効果についてのデータの蓄積がさらに必要であると考えられる。

## 第2節 異常葯の発生に対する効果

穂孕期の稲を冷温処理した場合、処理中から開花に至るまでの生育各期に葯ならびに花粉に種々の異常が発現することが知られている<sup>26, 55, 56, 73)</sup>。ここでは、小胞子初期におけるタペート肥大、小胞子後期における偏平葯胞ならびに小胞子発育不良葯胞、花粉完成期におけるフロリン含量の低下に着目し、これらの異常の発現が堆肥施用によって抑制されるかどうかを明らかにして前節の結果の裏付けを得ようとした。

## 材料および方法

前節の1976年の試験における穂孕期葉身 $N$ %がほぼ等しい堆肥区と無堆肥区の材料について調査を行った。すなわち、冷温処理終了日に葉身間長が $-50 \sim 0^{cm}$ の1次分けつを採取し、穂の中位1次枝梗における先端から3, 4, 5番目の穎花を取ってFAA(ホルマリン, 酢酸, 50%エタノールの5:5:90混液)で固定した。後日これらの穎花をパラフィン包埋して $10 \sim 15 \mu$ の横断切片を作成し、シッフの試薬で染色、カナダバルサンで封じて永久プレパラートを作成した。それらの中から発育段階が小胞子初期および小胞子後期の良好なプレパラートをそれぞれ7~9枚ずつ選出し、タペート肥大、扁平薬胞ならびに小胞子発育不良薬胞を検鏡した。また、出穂1日前の1次分けつ(穂孕期の葉身間長が $-70 \sim -51^{cm}$ )を採取し、その穂の中位1次枝梗における先端から3, 4, 5番目の穎花から薬を取り出し、420薬(70穎花)当たり3ccの80%冷

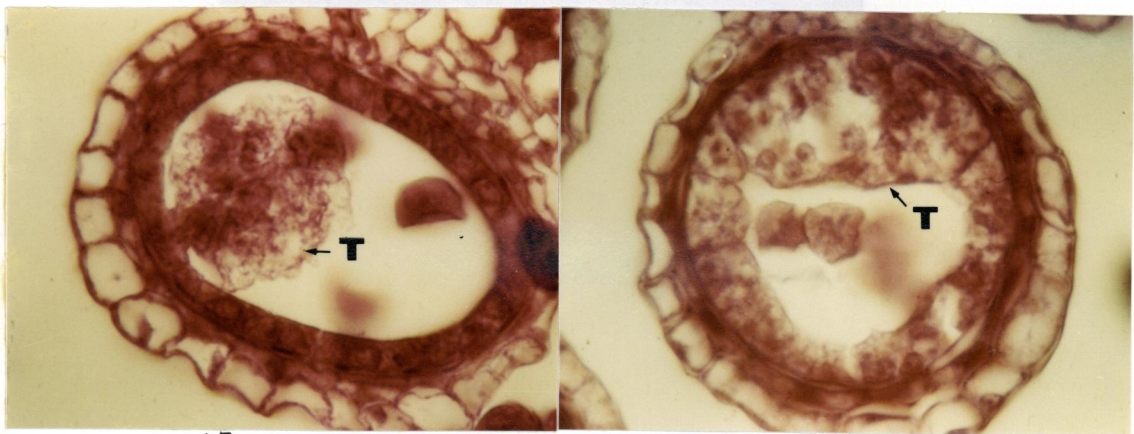
エタノールを加えて磨砕，アミノ酸を抽出した。常温下に1昼夜放置した後，遠心分離して上澄液を分取した。残渣はさらに80%エタノールで2度洗浄した。これらの抽出液を合わせ，送風下で1<sup>cc</sup>に濃縮し，その一定量を薄層プレートにスポットした。2次展開した後，ニンヒドリンで発色させ，スポットの濃度と大きさを考慮してプロリン含量を比較した。なお，展開溶媒は1次展開にはルーブタノール，酢酸，水の3:1:1混液，2次展開には80%フェノールを用いた。

## 結 果

第44図1，2図にこの調査において観察された小胞子初期のタペート肥大薬胞，ならびに小胞子後期の偏平薬胞および小胞子發育不良薬胞を示した。実際には異常の兆候がわからずに認められるものから図のごとく明瞭に認められるものまで様々な段階のものが観察されたが，ここでは，明瞭な異常のみから発生

率を求めることとした。

第45図に花粉完成期における遊離アミノ酸の薄層クロマトグラフィーを示した。常温区では、堆肥区および無堆肥区ともプロリンのスポットを含めて19のスポットが観察された。一方、冷温処理区ではプロリンのスポットを含めて13～15のスポットが観察された。

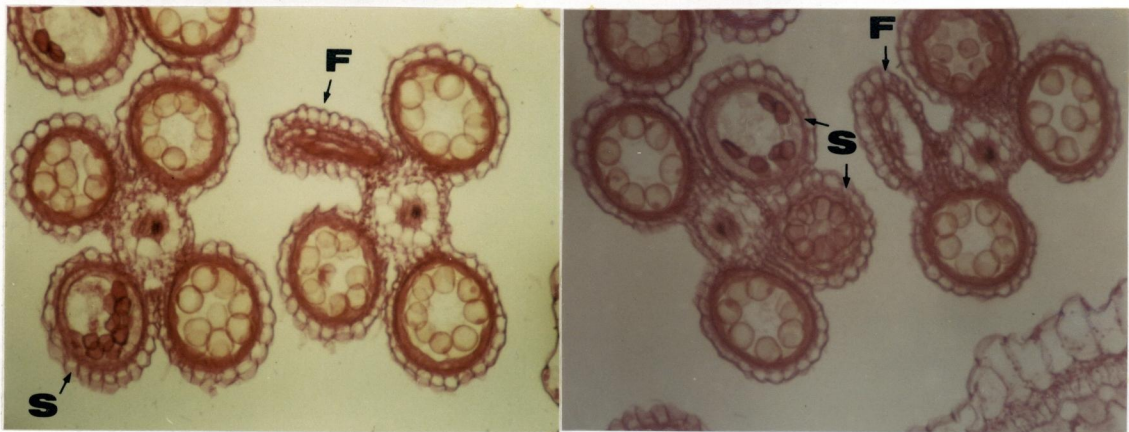


第44図-1 タペート肥大薬胞

注) T: 肥大したタペート細胞

左: 風船状肥大

右: ミク月状肥大

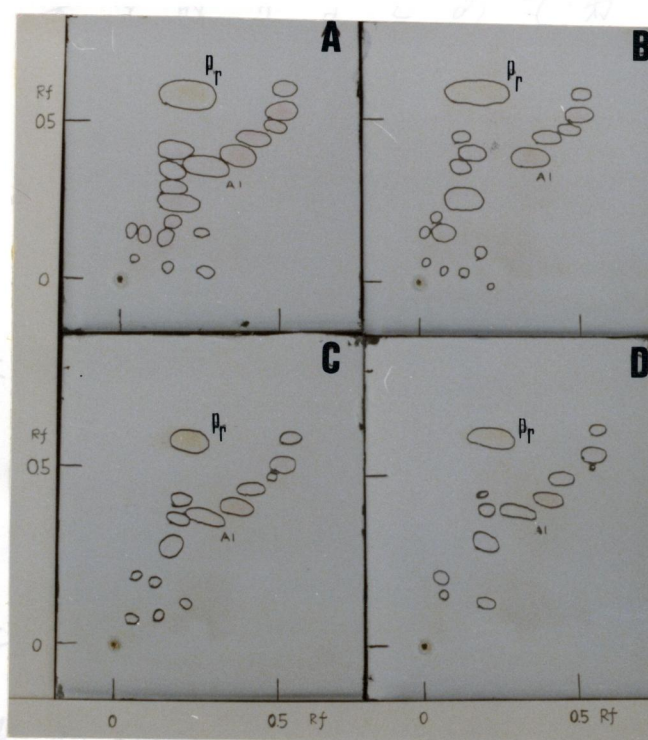


第44図-2 偏平薬胞ならびに小胞子發育不良薬胞

注) F: 偏平薬胞

S: 小胞子發育不良薬胞





第45図 水稲薬の遊離アミノ酸の薄層  
クロマトグラフィー

注) A: 常温堆肥区 B: 常温無堆肥区  
C: 低温処理堆肥区 D: 低温処理無堆肥区  
Pr: プロリン

第11表 異常薬の発生に対する堆肥施用の効果 (1979)

区	別	タペト肥大 (小胞子初期)		扁平薬胞など (小胞子後期)		アロリン含量* (花粉完成期)
		調査薬胞	%	調査薬胞	%	
常 温	無堆肥区	216	6.5	168	1.2	卅~卅卅
	堆肥区	190	1.6	192	2.1	卅
冷 温	無堆肥区	168	29.2	216	13.9	+
	堆肥区	216	19.9	216	9.7	卅

注) 穂孕期葉身N%は無堆肥区が3.6%, 堆肥区が3.5%でほぼ等しかった。

\*: +(少)~卅(多). 薄層クロマトグラフィーのプロットの大ささと濃度を考慮に示した。

観察の結果を取りまとめて第11表に示した。  
この表で明らかのように、冷温処理によって  
タペート肥大薬胞、偏平薬胞などが増大し、  
プロリン含量は低下したが、それらはいずれ  
も堆肥区において抑制された。

## 考 察

本節において調査した花粉発育各期におけ  
る薬ならびに花粉の異常は、いずれも堆肥区  
において抑制されており、穂孕期不稔が堆肥  
区において軽減されることを裏付けている。

穂孕期不稔<sup>と稔</sup>に関連した薬ならびに花粉異常  
の中で、酒井<sup>と稔</sup>は特にタペート肥大を重視し  
て詳細な研究を行い、その肥大価が品種の耐  
冷性と相関のあること、また、それが稲体の  
栄養生理的状态によって影響を受けることを  
明らかにしている。タペート肥大を抑制する  
栽培条件として珪酸の施用をあげているが、  
これは堆肥連用水田に栽培された水稻は堆肥  
無施用水田の水稻に比べて珪酸含量が高いこ

とを示した城下<sup>85)</sup>らの報告と関連して興味ある点である。薊のフロリンが花粉の発育と密接な関係があることは水稻についても知られている<sup>26, 63, 106, 107)</sup>。花粉発育各期のどのような異常が堆肥区において抑制されるかを今後さらに追求することによって、堆肥区における穂孕期耐冷性の生理的機構を解明する手がかりが得られるものと思われる。

### 第3節 穂孕期の根と地上部の生育に対する効果

堆肥区における穂孕期の生育状態の変化を形態と機能の面から明らかにしようとした。

#### 材料および方法

第1節の各年の材料について、穂孕期における堆肥区および無堆肥区の生育を比較した。

1976年は、草丈ならびに株当たり茎数を比較した。いずれも10株を調査し、平均値で示

した。

1977年は2株の根部を土塊とともに縦 $15\text{ cm}$ 、横 $25\text{ cm}$ 、深さ $20\text{ cm}$ の大きさに掘り取り、よく洗淨した後上節位根（上位4節）と下節位根（5節以下）に分け、それぞれについて生体<sup>105)</sup>重ならびに $\alpha$ -ナフチルアミン酸化力を測定した。また、別に2株を抜き取り、穂孕期葉身間長が $-7.0 \sim -1.1\text{ cm}$ の1次分けつにおける稈と葉鞘を込みにしたものの（稈+葉鞘）の炭水化物含有率を測定した。炭水化物含有率<sup>51)</sup>は、乾燥した試料 $200\text{ mg}$ をとり、村山らの方法で粗澱粉および全糖を分別定量し、乾物当たりパーセントで示した。

1978年は、穂孕期葉身 $\text{N}\%$ がほぼ等しい材料について、前年と同じ方法で2株の根を採取して上節位根および下節位根に分け、それぞれについて1次根の根色を比較した。根色は、白色根、褐色根、黒色根に大別し、それぞれの株当たり根数を求めた。

1979年は、穂孕期葉身 $\text{N}\%$ がほぼ等しい材

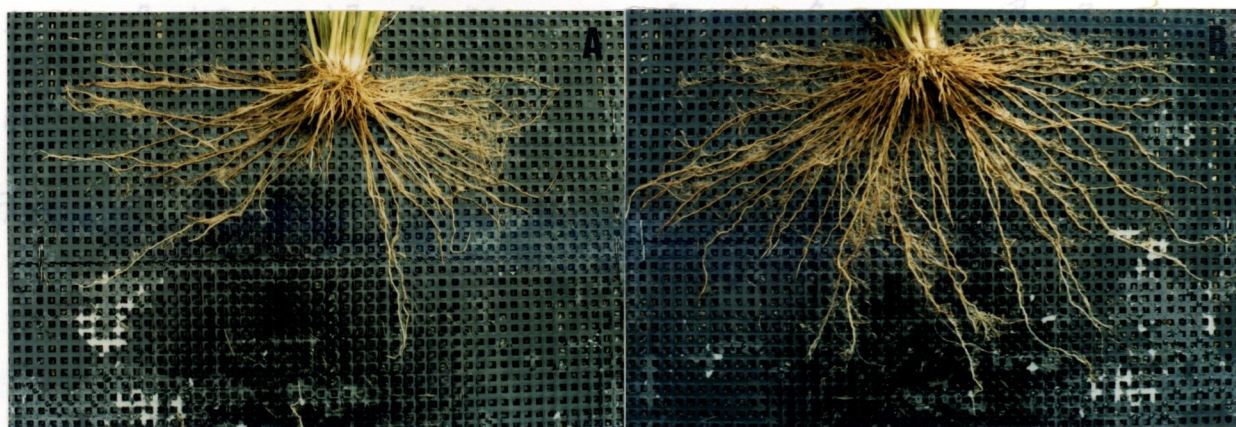
料について切断葉身の葉緑素分解を比較した。すなわち、穂孕期の葉身間長が $-1.0 \sim 1.0 \text{ cm}$ の1次分げっについて上位3葉身の中央部から生重 $100 \text{ mg}$ ずつを秤量し、 $20 \text{ ml}$ の80%熱エタノールで葉緑素を抽出して光電比色計で吸光度( $660 \text{ m}\mu$ )を求めた。それと同時に、各葉身の中央部 $2 \text{ cm}$ を切断し、各区15枚ずつを水を入れたシャーレに浮べ、 $30^\circ\text{C}$ ・暗所に48時間置いた後、上記の方法で葉緑素含量を測定した。

1981年は、葉色ならびに土層内の根の分布を比較した。葉色は、穂孕期葉身間長が $-1.0 \sim 1.0 \text{ cm}$ の1次分げっについて上葉10枚の葉色を色票(富士カラスケール)を用いて測定し、平均値で示した。根の調査は、穂孕期葉身 $N\%$ がほぼ等しい材料について以下の要領で行った。すなわち、改良モノリス( $5 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ )を用いて2株の根を堀り取り、ていねいに水洗して写真撮影した。次いで、その材料を地際より $5 \text{ cm}$ 間隔に切断し、各層ごとに1次根直径、2次根形成密度ならびに生体

重を測定した。1次根直径, 2次根形成密度の測定は, 拡大投影器を用いて長さ5 cm以上の根の中央部について行われた。

## 結果

まず, 根についてみると, 第46図に示すように堆肥区の根は無堆肥区のものに比べてよ



第46図 穂孕期における無堆肥区と堆肥区の根(1981)

注) A: 無堆肥区 B: 堆肥区

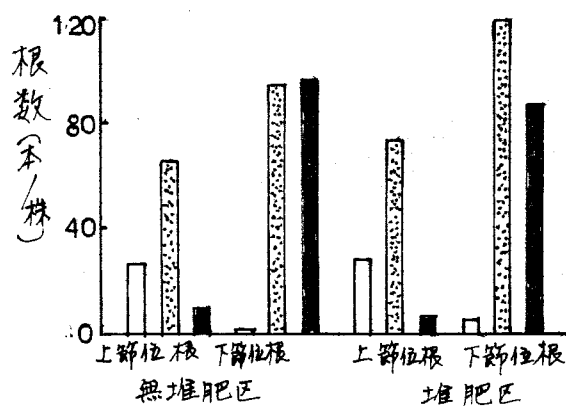
1 : 10 cm

第12表 穂孕期の根の生育に対する堆肥施用の効果(1981)

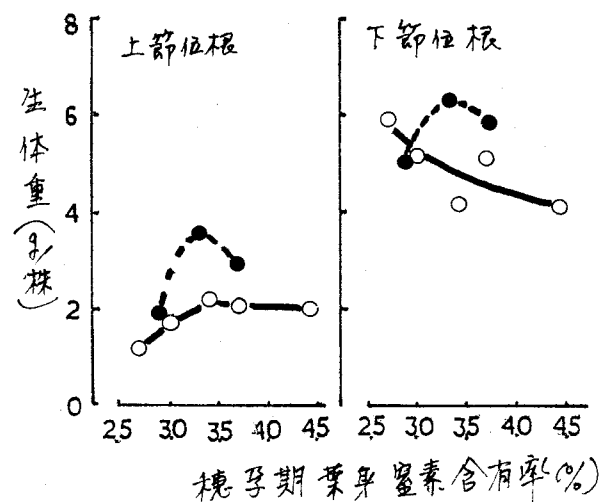
土層 (cm)	一次根(冠根) 直 径 (mm)		二次根 形成密度* (本/cm)		生体重 (g)	
	無堆肥区	堆肥区	無堆肥区	堆肥区	無堆肥区	堆肥区
0~5	0.81	0.84	13.3	17.9	3.34	3.93
5~10	0.91	1.03	12.7	18.4	1.36	1.92
10~15	0.88	0.93	14.5	22.3	0.46	1.08
15~20	0.80	1.11	11.3	22.7	0.11	0.38
20~25	0.75	0.71	8.0	17.8	0.04	0.17

注) \*: 長さ5 cm以上の根の中央部を測定

り広く、より深層に分布していた。この材料の各層における1次根直径、2次根形成密度および生体重を示したのが第12表である。いずれも堆肥区において大であり、その差は表層よりも下層において明瞭であった。第47図は1次根の根色を比較したものである。堆肥区は無堆肥区に比べて上節位根、下節位根とも白色根、褐色根の根数が多く、黒色根の数は逆に少なかった。また、第48図には根重を示したが、葉身N%が同一の場合にはいずれ



第47図 穂孕期の根色に対する堆肥施用の効果(1978)



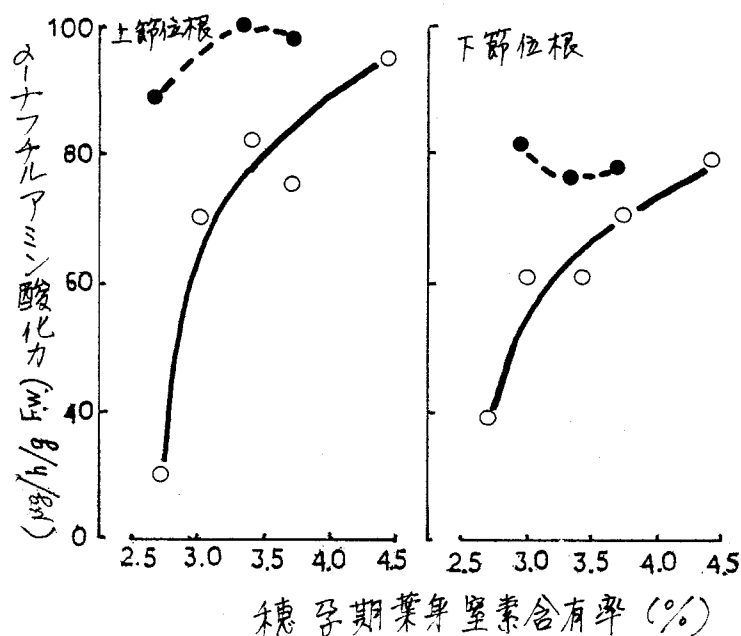
第48図 穂孕期の根重に対する堆肥施用の効果(1977)

注 〇 白色根、● 褐色根、■ 黒色根  
上節位根：上位4節の一次根  
下節位根：5節以下の一次根

注 ○ 無堆肥 ● 堆肥区

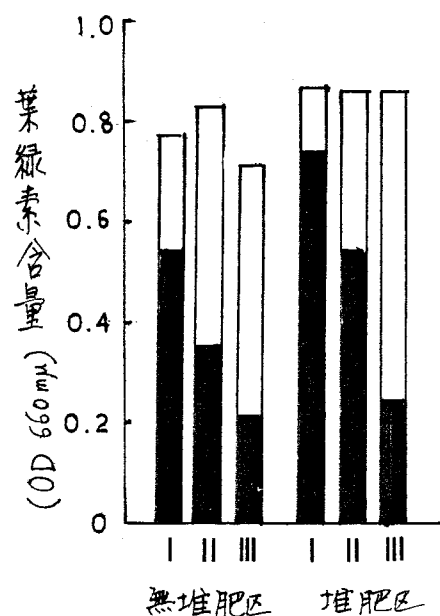


も堆肥区において高かった。根のメナフチルアミン酸化力は、第49図に示したように上節位根、下節位根とも葉身N%が同一の場合には、堆肥区において高かった。第50図に切断葉身の30℃・暗所における葉緑素分解を示した。この実験では、上から3枚目の葉身については葉緑素の分解に大差は認められなかつた。



第49図 穂孕期の根の活力に対する堆肥施用の効果(1977)

注) ○ 無堆肥区 ● 堆肥区



第50図 穂孕期、切断葉身の葉緑素分解に対する堆肥施用の効果(1979)

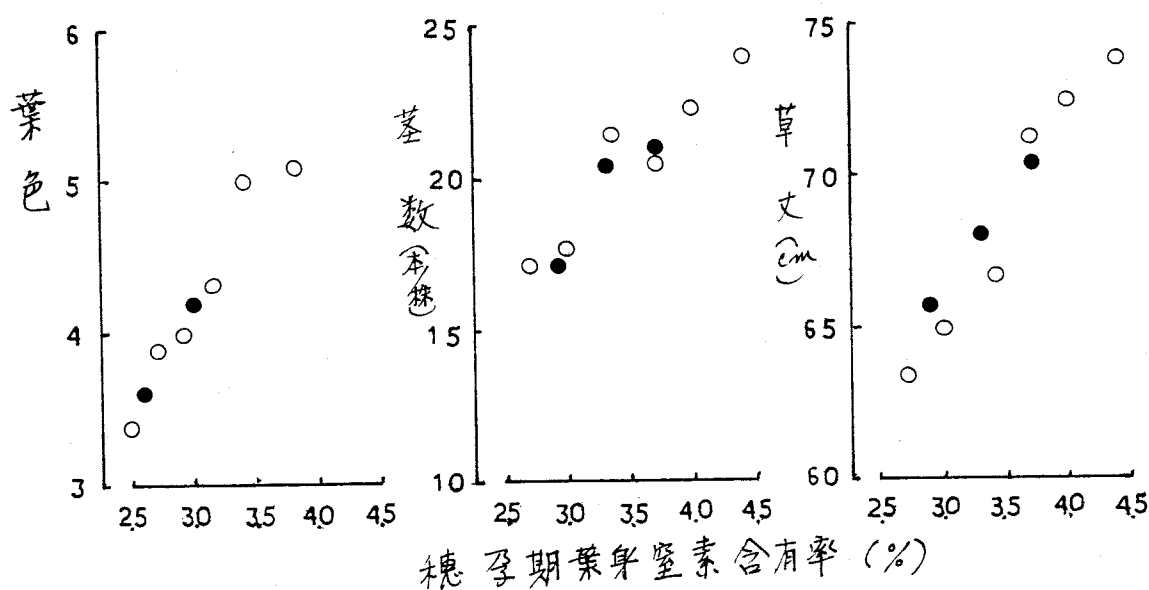
注) Iは止葉, それより下位へ  
II, III.

□ 切断直後  
■ 48時間後(水を入れたジャーに切断葉身入れ、30℃の暗所に置く.)



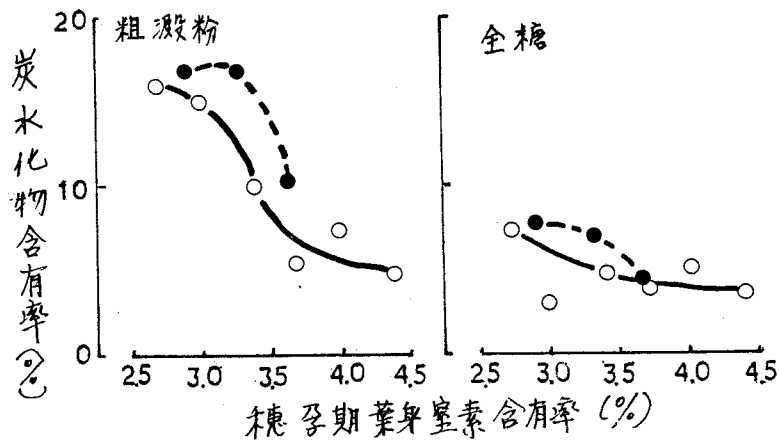
たが、1, 2枚目の葉身については堆肥区において葉緑素の分解が抑制された。

一方、地上部については、第51図に葉色、草丈、茎数の変化を示した。いずれの形質についても、葉身N%が等しい場合には、堆肥区と無堆肥区とはほぼ同じ値を示した。第52図は「稈+葉鞘」の炭水化物含有率を示したものである。両区とも葉身N%が高いほど粗澱粉および全糖含有率は低下する傾向を示したが、葉身N%が同一の場合には、いずれも堆肥区において高かった。



第51図 穂孕期の葉色、茎数ならびに草丈に対する堆肥施用の効果(1976, 1981)

注) ○ 無堆肥区 ● 堆肥区



第52図 穂孕期の穂および葉鞘(穂+葉鞘)の炭水化物含有率に対する堆肥施用の効果(1977)

注) ○無堆肥区 ●堆肥区

## 考 察

堆肥施用が水稻の生育に与える影響については、とくに、出穂期から登熟期<sup>31)</sup>の根について詳しく研究されている。川田<sup>32)</sup>、川田・副島は堆肥施用水田は無堆肥水田に比べて、土壤表層に分布する1次根数が多く、分枝根の出現密度も高いこと、さらに<sup>31)</sup>の尾状根の形成が少ないことなどを指摘している。また、鎌田・岡田は堆肥施用水田において、上節位根、中節位根ともに白く太いものが多いことを観察している。

本研究においても、穂孕期葉身N%がほぼ等しい材料について比較し、いくつかの相違点が認められた。堆肥区の根は無堆肥区のものに比べて、より広く、より深層に分布している。また、1次根は太く、より多くの2次根を形成し、上節位根、下節位根とも白色根、褐色根の根数が多く、黒色根は逆に少ない。根重は上節位根、下節位根とも明らかに重い。このような根の形態の相違には、当然、根の機能の違いが伴うものである。すなわち、第49図に示すように、根のメーナフチルアミン酸化力は上節位根、下節位根とも堆肥区において高い。下葉の枯れ上がりについては、穂孕期にはまだ登熟期にみられるほどの明瞭な区間差は観察されなかったが、第50図に示すように切断葉身の高温・暗所における葉緑素の分解には明らかに差が認められ、メーナフチルアミン酸化力の高い堆肥区で葉緑素の分解が抑制されている。登熟期間中、根の活力を高く維持する品種は葉緑素の減退が少なく、

切断葉身の葉緑素分解が遅いという李・太田<sup>64)</sup>の指摘とこれは一致している。このように堆肥施用によつて根の生育が促進され、活力<sup>52, 53)</sup>が高められることに関して、中山・太田は堆肥は著しく多量のエチレンを生成することを示し、これが根の生育に直接影響している可能性があることを示唆している。

葉色、草丈、茎数については、葉身 $N\%$ が等しい場合には、堆肥区も無堆肥区もほぼ同じ値を示す。葉色、草丈、茎数は穂孕期の生育状態を知る上で重要な目安となる形質であるが、同一品種では、これらはもっぱら籾体の窒素含有率に支配され、堆肥施用独自の効果は考えられない。穂孕期不稔に対する抵抗性を高めるには、窒素を減肥したり分施することによつて、穂孕期葉身 $N\%$ を低下させ、「稈+葉鞘」の炭水化物含有率<sup>21, 41)</sup>を高める方法がとられるが、堆肥を施用した場合には、第52図に示すように穂孕期葉身 $N\%$ が同一でも炭水化物含有率が高く、したがつて $C/N$ 率

も高く、穂実歩合の低下が少ないうことが注目される。

これを要するに、穂孕期の生育に対する堆肥施用の効果は、根の形態と機能ならびに「稈+葉鞘」の炭水化物含有率によく現われている。堆肥施用によつて、なぜ根の生育が促進され、活力が高められるかはまだ十分明らかでないが、こうした事実は、堆肥連用水田に栽培された水稻の穂孕期耐冷性が根の健全性と関連していることを示唆するものである。

#### 第4節 根の形態・機能と穂実歩合との関係

穂孕期<sup>38, 81)</sup>不稈<sup>84)</sup>が日射<sup>25)</sup>や気温の前層<sup>25)</sup>ならびに日較差<sup>38, 81)</sup>など地上部環境の影響を受けることはよく知られているが、栽培上重視されねばならない根部環境と穂孕期不稈との関係についてはほとんど研究されていない。

本節では、穂孕期の根の形態・機能と穂実

歩合との関連性を異なる根部環境によって検討しようとした。

### 材料および方法

1979年にイシカリを供試し、2つの実験によって根の形態・機能と穂孕期不稔との関係を検した。

実験Iは、 $\frac{1}{2,000}$  a および  $\frac{1}{10,000}$  a のワグネルポットを用いて作土量を変えて材料を養成した。いずれも上川農業試験場の苗代土壌を充填し、基肥として窒素（硫酸）、磷酸（過磷酸石灰）、加里（塩化加里）をポット当たり成分量でそれぞれ0.5gずつ施用した。6月8日に生育のそろった葉苗を1株2個体、ポット当たり4株ずつ移植した。移植してから穂孕期まで、両区の葉身窒素含有率および莖数がほぼ等しく推移するように葉色を見ながら硫酸水を適時追肥した。冷温処理以外の時期は戸外で栽培したが、栽培期間中ポットの大小によって土壌温度が変化しないようにポ

ットを水槽中に置いた。水深はポットの地面から水槽水面までを約3cmに調節した。冷温処理は大部分の主稈の葉身間長が-20~-30cmに達した頃、人工気象室を用いて15℃・6日間行なった。

実験Ⅱでは1/5,000のブリキ製ポットを用いて材料を養成し、穂孕期に土壤温度処理を行った。土壤、基肥量、栽植密度、移植日などは実験Ⅰと同一である。窒素追肥については、穎花分化期頃に硫酸を用いてポット当たり成分量0.5gを施用した。土壤温度処理は穂孕期冷温処理と同時にを行った。すなわち、恒温水槽が取り付けられた人工気象室を用い、気温を15℃、土壤温度を15℃および25℃に6日間別々に処理した。なお、25℃区はこの期間、水面に断熱材を置き、気温と土壤温度が相互に影響を受けないようにした。それ以外の時期は戸外で栽培した。

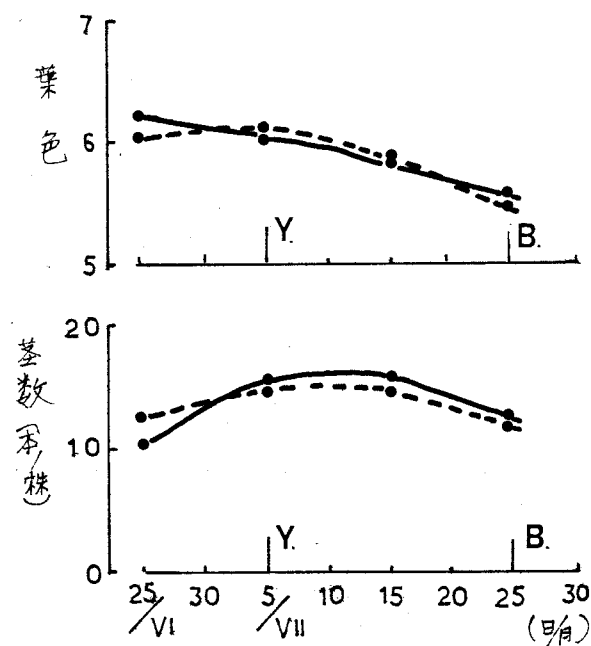
実験Ⅰ、Ⅱとも1区6ポットを用い、冷温処理開始日にすべての主稈について葉身間長

を測定した。実験Ⅰでは冷温処理開始時に、  
 実験Ⅱでは冷温処理終了時にそれぞれ2ポッ  
 トの稲について根の生体重、メーナフタルア  
 ミン酸化力<sup>105)</sup>、ならびに切断葉身の葉緑素分  
 解を比較した。切断葉身の葉緑素分解は、主  
 稈の上位3葉身について前節と同じ方法で測  
 定した。成熟期に残りの4ポットの主稈（実  
 験Ⅰでは処理開始時の葉身間長が $-20 \sim -51$  cm、  
 実験Ⅱでは $-5.0 \sim -3.1$  cm）について1穂数なら  
 びに総実歩合を調査した。

## 結 果

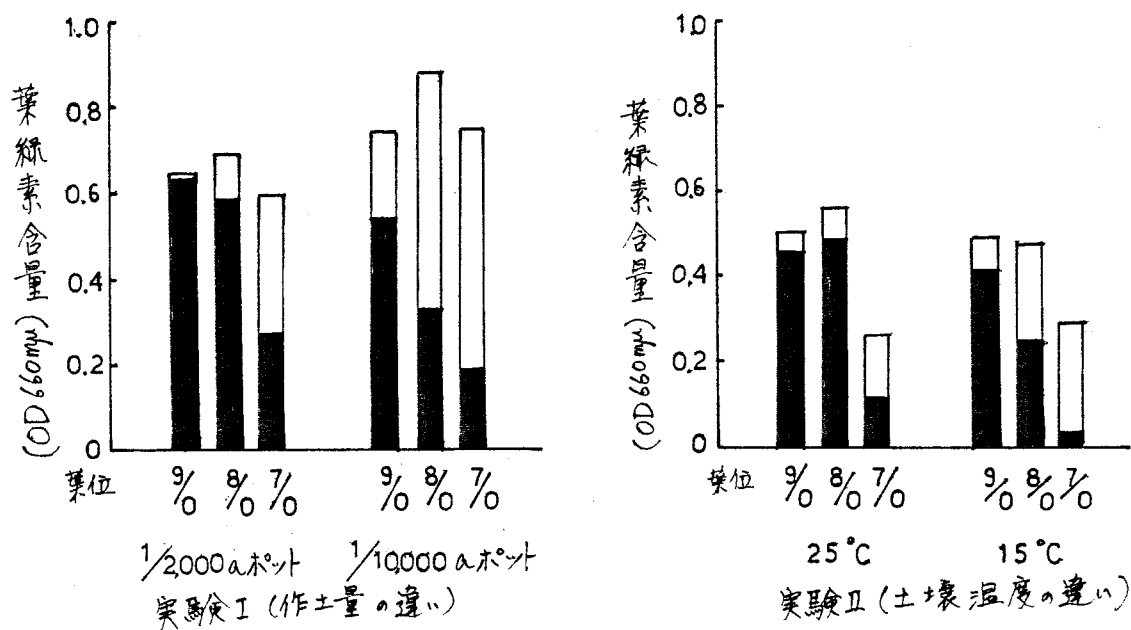
第53図に実験Ⅰにおける分けつ期から穂孕  
 期までの葉色ならびに茎数の推移を示した。  
 この図で明らかのように、葉色ならびに茎数  
 の推移曲線にはほとんど区間差は認められな  
 かった。第54図には切断葉身の葉緑素分解を  
 示した。切断葉身の葉緑素分解は、 $1/10,000$  a ポ  
 ット区よりも $1/2,000$  a ポット区で、 $15^{\circ}\text{C}$  区より  
 も $25^{\circ}\text{C}$  区においてそれぞれ抑制された。第13





第53図 生育に伴う葉色ならびに茎数の変化

注) — 1/2000 a.m., --- 1/10,000 a.m.  
Y: 穎花分化期 B: 穂予期



第54図 根部環境が切断葉身の葉緑素分解に及ぼす影響

注) □ 切断直後 ■ 43時間後(30°C. 暗所)

表は穂孕期の根重、根の活力、1穂粒数ならびに穂実歩合を示したものである。 $1/2,000$  aポット区は $1/10,000$  aポット区に比べて、根群の発達は明らかに良好であり、根の活力も高かった。穂実歩合は $1/2,000$  aポット区が $1/10,000$  aポット区に比べて約30%高かった。また、土壌温度を異にした例では、 $25^{\circ}\text{C}$ 区は $15^{\circ}\text{C}$ 区に比べて約20%高かった。

第13表 根部環境が穂孕期の根重、根の活力ならびに穂実歩合に及ぼす影響

根部処理	根の生体重 (g/株)	根のメナフタルピン 酸化力( $\mu\text{g}/\text{h}/\text{株 F.W.}$ )		1穂粒数	穂実歩合 (%)
		上節位根	下節位根		
実験 I $1/10,000$	11.3	270	523	48.1	19.0
(作土量の違い) $1/2,000$	15.6	375	796	50.9	46.6
実験 II $15^{\circ}\text{C}$	12.6	300	710	64.5	21.2
(土壌温度の違い) $25^{\circ}\text{C}$	13.2	304	742	63.8	40.8

## 考 察

根の形態・機能と穂実歩合の関係は、第13表に示すように、いずれの根部環境においても穂孕期に活力が高く、よく発達した根群を保持している区において穂実歩合が高くなっている。本研究では、実験 I においては窒素

肥料を加減してあり、また、実験Ⅱにおいては冷温処理中における短期間の土壌温度処理であるため、両実験とも地上部の生育には大きな区間差は認められない。したがって、穂実歩合の区間差には根部環境の相違による根の形態・機能の変化が強く関与していると考えられる。切断葉身の葉緑素分解は活力が高く、よく発達した根群を保持している区において抑制されているが、これは、おそらくそれらの区において根のサイトカイニン様物質<sup>5, 5a, 11)</sup>の活性<sup>104)</sup>が高いことを示すものであろう。

山田<sup>104)</sup>は低土壌温度や根腐れ処理によって花粉の生産量、花粉活性がとも低下することと指摘している。また、森脇<sup>48)</sup>らは幼穂形成期前15日から51日間の茎基部の冷却による不稔が、根部の高温によって幾分軽減されることをみている。これらはいずれも根の形態・機能を直接調査したものではないが、穂孕期不稔との間に密接な関係があることを示唆するものであろう。

(108)

さらに、山本ら<sup>(108)</sup>が耐冷性を異にする数品種を供試しておこなった実験によると、主穂ク葉期における茎単位断面積当たり1日の溢泌液量は穂孕期耐冷性と正の相関を示している。これは栄養生長期における溢泌液量の多少から穂孕期耐冷性を予測し得る可能性を示した注目すべき報告であると思われる。この場合、溢泌液量が多いほど根の吸水機能が高いとみられるから、穂孕期耐冷性の品種間差も根の機能と密接に関係していることが考えられる。

これらの実験結果は、堆肥連用水田に栽培された水稻の穂孕期耐冷性が、根の健全性と深く結びついているとした前節の指摘を支持している。根と穂孕期耐冷性との関連性についての直接的な証明は今後の研究に待たねばならないが、穂孕期に活力が高く、よく発達した根群を保持した稲体を作ることは、耐冷栽培上、また品種改良上重視されなければならないと考えられる。

## 第5節 収量に対する効果

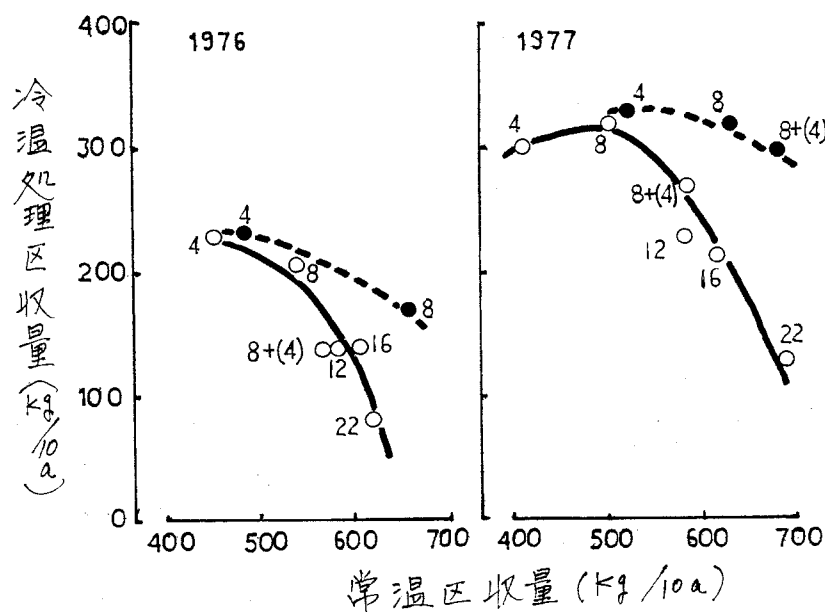
収量に対する堆肥施用の効果を明らかにしようとした。

### 材料および方法

本章第1節の各年の材料のうち、収量調査が行われたのは1976年および1977年の2カ年である。したがって、本節ではこの2カ年のデータを示す。なお、収量は $2\text{ m}^2$ を刈り取り、粒厚 $1.8\text{ mm}$ 以上の精玄米重で示した。収量構成要素は、成熟期の2株について調査した。

### 結 果

第55図に収量に対する堆肥施用の効果を示した。2カ年とも堆肥区も無堆肥区も窒素施用量が多く、常温下で多収を示した区ほど冷温処理による収量低下が大であった。冷温処理区の収量に対する堆肥施用の効果は、常温区の収量が $10\text{ a}$ 当たり $500\text{ kg}$ 以下の低収域では



第55図 収量(精玄米)に対する堆肥施用の効果

注) ○ 無堆肥区 ● 堆肥区  
 図中の数字は基肥窒素量(kg/10a)  
 ( )内の数字は幼穂形成期追肥窒素量(kg/10a).

認められなかったが、600 kg以上の高収域で明瞭に認められた。

第14表に冷温処理区の収量に対する $m^2$ 当た

第14表 冷温処理区の収量に対する収量構成要素の相対効果

年次	収量構成要素	標準偏回帰係数	重相関係数
1976	$m^2$ 当たり粒数	0.079	$r=0.964^{***}$
	穂実歩合(10 $\sqrt{}$ %)	1.041	$r^2=0.924$
1977	$m^2$ 当たり粒数	0.519	$r=0.894^{***}$
	穂実歩合(10 $\sqrt{}$ %)	1.278	$r^2=0.795$

注) \*\*\*: 有意水準 0.1%

り収数ならびに稔実歩合の標準偏回帰係数を示した。標準偏回帰係数は2ヵ年とも稔実歩合の方が明らかに大であった。

### 考 察

冷害に対する堆肥施用の効果と収量で比較する場合、既往の研究においては化学肥料<sup>29, 36</sup>の施用量を一定にして比較したものが多い<sup>25, 70</sup>。

しかし、本章第1節で述べたごとく堆肥の窒素的肥効を考慮した場合、こうした比較の方法は適当でなく、堆肥の窒素的肥効の分だけ化学肥料の施用を多くした区と比較する必要がある。厳密には窒素だけでなくその他の要素についても考慮しなければならない。そうすると対照区の設定が極めて困難となる。第55図に示した比較の方法はそうしたことにかかわらず平年における収量水準を基準に置き、穂孕期冷温処理によってどれだけ減収するかと比較している。このような比較における堆肥施用の効果は、10a当たり500kg以下の

低収域ではほとんどなく、600 kg 以上の高収域で明瞭に認められる。標準偏回帰係数が2カ年とも稔実歩合において明らかに大きかったことは、高収域における堆肥施用の効果は、 $m^2$ 当たり粒数の変化によるよりも稔実歩合の向上により大きく依存するものであることを示している。

安定多収ということとは期待収量が高いほど困難であるが、堆肥施用はこれに対処する一つの方法であると考えられる。

## 第6節 小括

穂孕期不稔に対する堆肥施用の効果を実証し、堆肥施用による水稻の形態・機能の変化との関連性について検討した。

1. 稔実歩合は穂孕期葉身窒素含有率が3%程度では堆肥区と無堆肥区の間には大差はなかったが、それ以上の葉身窒素含有率になると、堆肥区の稔実歩合は無堆肥区のものに比



べて明らかに高くなつた。

2. 穂孕期冷温処理に伴って起こる2, 3の葯異常(タペート肥大葯胞, 偏平葯胞, 小胞子發育不良葯胞, フロリン含量の低下)は, 堆肥区で明らかに抑制された。

3. 穂孕期の葉身窒素含有率がほぼ等しい材料について, 穂孕期における根および地上部の生育状態を調べた。堆肥区の根は無堆肥区のものに比べて, より広く, より深層に分布し, 活力も高いことが認められた。葉色, 草丈, 茎数に対しては堆肥施用の効果は認められなかった。稈と葉鞘を込みにしたものの炭水化物含有率は堆肥区において高かった。以上の諸調査によつて, 堆肥連用水田に栽培された水稻の穂孕期耐冷性は根の健全性と関連していることが示唆された。

4. 穂孕期の根の形態・機能と穂孕期耐冷性との関連性を異なる根部環境によつて検討した。穂孕期に活力が高く, よく発達した根群を保持した区において稈実歩合は高かった。

この事實は、堆肥連用水田に栽培された水稻の穂孕期耐冷性が根の健全性と関連しているとした前述の指摘を支持している。

5. 穂孕期冷温処理区の収量に対する堆肥施用の効果は、常温区の収量が10a当たり500kg以下の低収域では認められなかったが、600kg以上の高収域では明瞭に認められた。

### 第 3 編 総括 および 結論

北海道における最近の水稻栽培技術の省力化が水稻の耐冷性に及ぼす影響を検討し、技術改善の指針を得ようとした。第 1 編では多種多様な苗を供試して出穂期の活着期温度反応を明らかにするとともに、密播条件下の育苗において苗の葉齢を増加させる育苗管理法を究明した。第 2 編では圃場で穂孕期の稲を正確に冷温処理する装置を考案し、これを用いてこれまでほとんど経験的にしか論じられなかった穂孕期の不稔に対する窒素栄養的診断基準、ならびに堆肥施用効果について実験的根拠を示した。従来、穂孕期の不稔に関する研究は、圃場試験における正確な冷温処理が困難なことからほとんどがポット試験によって行われ、その成果を実際になかなか適用しかねることが多かったのに対し、本研究は大方を圃場試験によって行っており、冷害研究の新しい方法論を示している。得られた結

果を要約すれば次の通りである。

# I 苗の葉齡と活着期の冷温による出穂遅延との関係

## 1 苗の葉齡の相違が出穂期に及ぼす影響

(1) 活着期冷温年次における出穂遅延、活着期冷水地温による出穂遅延はいずれも葉齡の低い苗ほど助長された。また、播種密度が高い苗、葉齡の低い苗ほど移植期の遅れにともなう出穂遅延が助長され、移植期の許容範囲が縮小された。

(2) 活着期冷温による出穂遅延を軽減するには、1) 出葉速度を促進する。2) 移植後の主稈出葉数を減少させるのいずれかであるが、1)の方法は困難である。機械移植栽培においても葉齡の進んだ苗を移植し、移植後の主稈出葉数を減少させることが必要である。苗の出葉速度は基本的には播種密度によって支配

されるが、機械移植が前提となる今日の稲作では密播条件下においても出葉速度を早期に低下させない育苗管理技術が検討されなければならない。

## 2 育苗期における葉齢の促進方法の検討

(1) 寒冷紗1枚を被覆して出芽させた簡易育苗は、出芽器を使用 ( $30^{\circ}\text{C}$ , 暗黒, 36時間) して出芽させた箱育苗 ( $30^{\circ}\text{C}$  箱育苗) よりも移植時の葉齢が増加することを見い出した。育苗様式の違いによる葉齢の相違には、草型の変化と出芽期以降における地温の差の二つの影響が考えられた。しかし、箱育苗でも簡易育苗と同じように寒冷紗を被覆して出芽させると、両者の出葉経過はほぼ一致することが認められ、出芽期以降の地温の差は葉齢にほとんど影響していないことが知られた。

## (2) 簡易育苗と $30^{\circ}\text{C}$ 箱育苗において移植

時の葉齡が相違する直接の理由は、2葉期以降の出葉速度の違にある。30℃箱育苗の出葉速度は2葉期以降急速に低下したが、簡易育苗の出葉速度は3葉期まで低下しなかった。30℃箱育苗は簡易育苗に比べて第2葉の葉身が湾曲し、葉が上層に分布していた。30℃箱育苗の地上部窒素含有率は2葉期頃から急速に減少し、NARは著しく低下した。以上を要するに、簡易育苗と30℃箱育苗における生育の比較から、密播条件下における出葉速度の相違には2葉期の草型が強く関与することが示された。

(3) 30℃箱育苗と簡易育苗における育苗期の葉身および葉鞘長の中で、第2葉葉身長に最も顕著な差が認められた。密播条件下において出葉速度を早期に低下させないためには、第2葉葉身長を5cm以内に止め、直立型群落を作ることが必要である。被覆資材を用いた出芽方法はそのための有効な手段のひとつであると考えられる。

## Ⅱ 窒素ならびに堆肥施用と穂孕期冷温による不稔との関係

### 1. 圃場における穂孕期冷温処理方法の検討

圃場試験の材料を穂孕期に精密に冷温処理するために二つの装置を考案した。一つは、穂を含む葉鞘部を局部的に冷却する装置である。この装置を用いて10～50茎の穂を含む葉鞘部を外気温が10℃以上変化した場合でも±3℃の幅で冷温処理することができた。もうひとつは、圃場において精密に温度処理できる冷水灌漑装置である。この装置を用いることによって真夏の晴天日でも約30<sup>m<sup>2</sup></sup>の水田の全茎の幼穂を10～16℃の範囲で恒温(±0.5℃)に処理することができた。

### 2 穂孕期の冷温による不稔を軽減・防止する稲体窒素条件について

(1) 穂孕期の不稔に関する葉身限界窒素含有率（穂孕期葉身限界  $N\%$ ）はしおかりでは  $3.0 \sim 3.3\%$ ，イシカリでは  $3.3 \sim 3.6\%$  であった。多窒素によって不稔を多発させないためには、穂孕期に葉身窒素含有率がこれらの値を越えないように施肥することが必要である。

(2) 葉色と葉身窒素含有率との間には、品種、生育時期に関してそれぞれ  $0.1\%$  水準の有意な正の相関が認められた。回帰式は次の通りである。しおかりおよびイシカリ・穎花分化期： $Y = 0.784X - 0.150$ ，穂孕期： $Y = 0.538X + 0.444$ ，キタヒカリ・穎花分化期： $Y = 0.689X + 0.411$ ，穂孕期： $Y = 0.449X + 1.059$  ただし、 $Y$ ：葉身窒素含有率， $X$ ：葉色（最上位展開葉）。予測値の信頼域は各式とも  $0.4 \sim 0.5\%$  であった。

(3) しおかりおよびイシカリの穂孕期葉身限界  $N\%$  の葉色値は、上記の回帰式によりそれぞれ  $4.8 \sim 5.3$ ， $5.3 \sim 5.8$  と計算された。しかし、回帰式の推定精度を考慮すると、現地圃場における診断においては、それぞれの上限



値に最も近い色票の読み取り値（しおかり：5.5，イシカリ：6.0）を穂孕期葉身限界 $N\%$ の葉色値とみなしてよい。上川農業試験場圃場における3ヶ年の窒素分施栽培の結果にもとづいて耐冷栽培における葉色推移曲線を策定した。

### 3. 穂孕期の冷温による不稔に対する堆肥施用の効果

(1) 稔実歩合は穂孕期葉身窒素含有率が3%程度では堆肥区と無堆肥区の間には大差はなかったが、それ以上では堆肥区が無堆肥区に比べて明らかに高かった。穂孕期冷温処理に伴って起る2, 3の葯異常も堆肥区では抑制された。

(2) 穂孕期の葉身窒素含有率がほぼ等しい堆肥区と無堆肥区の材料について生育を比較したところ、根の形態と機能に明瞭な相違

が認められた。堆肥区における穂孕期耐冷性は根の健全性と関連していることが示唆された。

(3) 穂孕期耐冷性と根の形態と機能との関連性を異なる根部環境によって検討した。穂孕期に活力が高く、よく発達した根群を保持した区において稔実歩合は高かった。穂孕期によく発達した根群を保持した根体を作ることは、耐冷栽培上、また、品種改良上重視されなければならない。

(4) 堆肥区も無堆肥区も、窒素施用量が多く、常温下で多収を示すもののほど冷温処理による収量低下が大であった。冷温処理区の収量に対する堆肥施用の効果は、常温区の収量が10a当たり500kg以下の低収域では認められなかったが、600kg以上の高収域では明瞭に認められた。これを要するに、安定多収ということは期待収量が高いほど困難であるが、堆肥施用はこれに対処するひとつの方法であると考えられた。

## 引用文献

- 1) 天野高久・小川 勉・砂田喜与志 1973. 水稻の生育促進に関する研究. 第1報 育苗法と出穂ならびに生育との関係. 北海道立農業試験場集報 27: 26-36.
- 2) 天野高久・小川 勉・森脇良三郎 1974. 水稻の生育促進に関する研究. II. 機械移植栽培における生育促進法. 北海道立農業試験場集報 30: 25-31.
- 3) 天野高久・小川 勉・森脇良三郎 1975. 水稻の生育促進に関する研究. III. 出芽温度が苗の出葉速度に及ぼす影響. 北海道立農業試験場集報 32: 1-7.
- 4) 天野高久 1976. 水稻の冷害に関する栽培学的研究. I. 冷温処理装置について. 北海道立農業試験場集報 34: 1-7.
- 5) 天野高久・森脇良三郎 1980. 水稻の障害型冷害に関する研究. IV. 2, 3の根部処理が不稔発生に及ぼす影響. 日作紀 49 (別1): 187-188.
- 6) 天野高久・森脇良三郎・森田弘彦・竹川昌和・山崎信弘・山崎一彦 1982. 水稻の障害型冷害に関する研究. V. 葉色による窒素過剰イネの診断. 日作紀 51 (別1): 111-112.
- 7) 天野高久 1982. 堆肥を施用した水稻の形態と機能 — 穂孕期不稔に関連して —. 日本作物学会第174回講演会シンポジウム要旨. 38-47.
- 8) 朝隈純隆 1958. 水稻の出穂に関する生態的研究. (I報) 2, 3の条件と出穂日数について. (II報) 日本稻の基本栄養生長性, 感光性, 感温性について. 日作紀 27: 61-66.

- 9) 江川友治 1964. 堆厩肥の土壤肥料学的論議——歴史的に、総合的に——. 19: 1-5.
- 10) 榎本中衛 1943. 水稻の冷水灌漑に関する研究 (第6報). 京都大学農学部作物学研究室業績. 1-20.
- 11) 羽生寿郎・岡本利高・内島立郎・藤原 忠 1973. 開放型変温実験装置の試作. 東北農業試験場研究報告 45: 101-116.
- 12) 長谷川儀一 1963. 葉分析による水稻の栄養診断に関する研究. 京都大学学位論文.
- 13) 長谷川浩 1959. 水稻の出葉速度と土壤温度. 農及園 34: 1795-1798.
- 14) 橋本秀教 1977. 有機物施用の理論と応用. 農山漁村文化協会, 東京. 13-94.
- 15) 樋口福男・太田 浩 1960. 水稻の栽培環境による前歴が耐冷性に及ぼす影響について. 東北農業研究 2: 54-55.
- 16) 北海道立上川農業試験場 1979. 昭和54年度水稻栽培科試験成績書. 18-29.
- 17) 本谷耕一 1967. 水稻多収の基礎条件. 農山漁村文化協会, 東京.
- 18) 本谷耕一 1975. 地力維持を考える—危機に立つ稲作—. 家の光協会, 東京.
- 19) 細井徳夫 1976. 気象要因による水稻生育の変動性に関する研究. I. 生育温度の差異による水稻の出穂変動性の品種間差異. 育雑 26: 328-338.

- 20) 細井徳夫 1977. 気象要因による水稻生育の変動性に関する研究. 第2報 生育温度の差異と稚苗および成苗移植栽培における品種の出穂変動. 日作紀 46: 352-360.
- 21) 藤村利夫 1969. 寒冷地稲作における窒素施肥法. 農及園 44: 1669-1672.
- 22) 飯田一郎 1968. 稲の穂肥要否判定法. 農業技術 23: 257-260.
- 23) 今井良衛 1980. 色票による水稻の葉色表示と生育中後期の栄養診断. 農林水産省農林水産技術会議事務局編, 新しい技術. 18: 103-110.
- 24) 伊藤延男 1975. イネの冷温障害 (I) —とくに遅延型冷害について—. 農及園 50: 1465-1470.
- 25) ITO, N. 1976. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XV. Effect of moderate cooling before or after the critical stage on the sterility induced by cooling at the critical stage. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan 45: 558-562.
- 26) 伊藤延男 1980. イネ障害型冷害における葯の生理学的異常及びその出現時期. 北海道農業試験場研究報告 125: 41-75.
- 27) 岩淵晴郎 1981. 化学肥料の功罪はどこに. 中山利彦他監修 有機質肥料のすべて. ニューカントリー—臨時増刊号. 8-10.
- 28) KABAHI, N., T. YONEYAMA and K. TAJIMA 1982. Physiological mechanism of growth retardation in rice seedlings as affected by low temperature. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan 51: 82-88.

- 29) 鎌田金英治・岡田晃治 1976. 水稻栽培における堆肥施用の効果—栽培条件と根の活性を中心として—. 農及園 51: 867-871.
- 30) KANEDA, C. and H. M. BEACHELL 1974. Response of indica-japonica rice hybrids to low temperatures. SABRAO Jour. 6: 17-32.
- 31) 川田信一郎 1974. 作物の側からみた地力問題. 農業構造問題研究 99: 46-54.
- 32) 川田信一郎 1976. 水稻根の生育 とくに「うね根」の形成と堆肥施用との関係について. 日作紀 45: 99-116.
- 33) 菊地 修・中鉢富夫・塩島光州 1981. ササニシキの簡易窒素栄養診断技術. 第2報 葉色板の活用法. 東北農業研究 29: 13-14.
- 34) 木根淵旨光 1969. 水稻雑苗栽培技術の確立ならびに機械化技術における実証的研究. 東北農業試験場研究報告 38: 1-151.
- 35) 小林正男・佐竹徹夫 1979. イネ穂ばらみ期冷温による不稔を防止するためには有効な灌漑水の深さ. 日作紀 48: 243-248.
- 36) 高坂 巖 1974. 水稻に対する有機物施用の効果. 農業技術 29: 7-11.
- 37) 久保田収治 1980. 作物を診断する. 1 栄養診断. 化学と生物 18: 580-584.
- 38) 松島省三・角田公正・真中多喜夫 1958. 水稻の登熟に及ぼす生育各期の気温・日射及び気温較差の影響. 農及園 33: 877-883.
- 39) 松島省三・田中孝幸 1960. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. IV 不受精粒の早期鑑別法. 日作紀 28: 365-366.

- 40) 松島省三・田中孝幸・星野孝文 1968. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第78報 各種気温・水温条件下で育成した苗の各種の気温・水温条件下での活着良否について. (1) 苗代日数が同一の苗を移植した場合. 日作紀 37: 161-168.
- 41) 松崎昭夫・松島省三 1971. 水稻収量の成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第105報 Y字理論稲作と減数分裂期の低温抵抗性との関係. 日作紀 40: 519-524.
- 42) 松崎昭夫・刈屋国男・町田寛康・角田公正 1980. 水稻の生育調節と栄養診断に関する研究. 第1報 色票による葉色診断と単位面積当たり穎花数の推定. 日作紀 49: 939-444.
- 43) MATSUZAKI, A., K. KARIYA, H. MACHIDA and K. TSUNODA 1982. Studies on the growth control and the nutritional diagnosis in rice plants. III. Growth diagnosis at the stage of spikelet initiation for nitrogen top dressing. Proc. Crop. Sci. Soc. Japan 51: 322 - 331.
- 44) 三本弘乗・中堀登示光・本田勝雄・板田幹男・佐藤尚雄 1973. 水稻の機械化移植栽培に関する生態的研究. 第1報 移植期における温度条件について (1). 日作東北支部会報 15: 25-27.
- 45) 南 松雄 1976. 水田地力の現状と有機物施用の意義. 北農 43(1): 3-17.
- 46) 森 哲郎 1974. 寒冷地における水田地力の現状と地力対策. 農業技術 29: 193-198.
- 47) 森田弘彦・村上利男 1979. 大正2年の気象を想定した場合の現行栽培稲の生育相. 日本育種学会・日作北海道談話会報 19: 9.

- 48) 森脇 勉・高村泰雄・長谷川浩 1962. 水稻の茎基部および根部の低温が不稔発現におよぼす影響. 近畿作物・育種談話会報 7: 47-48.
- 49) MORIWAKI, T. 1974. Physiological studies on the effects of soil temperature upon the vegetative growth of rice plants. Memories Coll. Agr. Kyoto Univ. 105: 1 - 71.
- 50) MORIWAKI, T. 1979. Effects of soil temperature on the vegetative growth of rice. JARQ 13: 16 - 21.
- 51) 村山 登・吉野 実・大島正男・塚原貞雄・川原崎裕司 1955. 水稻の生育に伴う炭水化物の集積過程に関する研究. 農技研報 B 4: 124-129.
- 52) 中山正義・太田保夫 1980. 作物に対するエチレンの生理作用に関する研究. 第5報 土壌のエチレン生成におよぼす水および堆肥の影響. 日作紀 49: 359-365.
- 53) 中山正義・太田保夫 1980. 作物に対するエチレンの生理作用に関する研究. 第6報 ダイズおよびイネ幼植物の根の生長におよぼす炭化水素とくにエチレンの影響. 日作紀 49: 366-372.
- 54) 西山岩男 1976. 全国イネ冷害実態調査アンケート. 北海道農業試験場研究資料 8: 1-42.
- 55) 西山岩男 1976. イネの冷害—穂孕期不稔の発生機構—. 化学と生物 14: 479-486.
- 56) 西山岩男 1978. 古くて新しい問題“冷害”—障害型冷害研究の最近の展開に関連して—. 科学 48: 766-776.
- 57) 農業生産工学研究会 1979. 水稻の葉色表示法に関する試験成績概要. 技術参考資料 No. 33: 1-52.



- 58) 農業生産工学会 1980. 色粟板の現地における用例. 技術速報  
No. 10 : 1 - 33.
- 59) 岡 彦一 1954. 稻品種の感光性, 感温性及び生育日数の品種間変異.  
栽培稻の系統発生的分化 (第3報). 育雑 4 : 92 - 100.
- 60) 大島正男 1966. 水稻の穂肥要否の簡易判定法. 農反園 41 : 1081 -  
1082
- 61) 大谷義雄・土井弥太郎・泉清一 1948. 水稻冷害の生理学的研究 (予報).  
(IX) 挿秧後各期における硫酸アンモニア施用と出穂並びに低温障害との関  
係. 日作紀 16 : 3 - 5.
- 62) 尾崎 清 1954. 水稻の窒素代謝に関する研究, Ⅲ amino 酸及び  
amides について (その3) — asparagine の検出による穂肥要否の判定 —  
土肥誌 25 : 20 - 24.
- 63) OZAKI, K. and K. TAI 1961. Nitrogen metabolism of paddy rice at head-  
ing. (1) Free proline in the pollens. Soil and Plant Food 6 : 184 -  
185.
- 64) 李 鍾薫・太田保夫 1973. 水稻根の形態および機能と地上部諸形質と  
の関連について. 農技研報 D 24 : 61 - 105.
- 65) 李 善龍・井上 駿・雨宮 昭 1973. 水稻品種「統一」の葉枯れに関  
する生理学的研究 — 透水の効果について —. 日作紀 42 (別1) : 23  
- 24.
- 66) 斉藤準二・今野一男 1966. 北海道における早播熟苗栽培法. 農業技  
術 21 : 1 - 5.
- 67) 斉藤準二 1980. 昭和54年度稲作の反省と改善方策. 北海道立上川農  
業試験場専門技術員室資料 P. 12.

- 68) 酒井寛一 1949. 冷害におけるイネ不稔性の細胞組織学的ならびに育種学的研究特に低温によるタペート肥大に関する実験的研究. 北海道農業試験場報告. 43: 1-46.
- 69) SAKAMOTO, S. and K. TORIYAMA 1967. Studies on the breeding of non-seasonal short duration rice varieties with special reference to the heading characteristics of japanese varieties. Bull. Chugoku Agri. Exp. Sta. Series A 14: 147-166.
- 70) 坂柳迪夫 1973. 水田における地力培養対策の推進について. 圃場と土壤 53: 28-32.
- 71) 作物分析法研究会編 1975. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. 養賢堂, 東京.
- 72) 佐々木一男・和田 定 1975. イネの冷害不稔発生に対する窒素・磷酸, および加里の影響. 日作紀 44: 250-254.
- 73) SATAKE, T. 1976. Determination of the most sensitive stage to sterile-type cool injury in rice plants. Res. Bull. Hokkaido Natl. Exp. Sta. 113: 1-44.
- 74) 佐竹徹夫 1980. イネ冷害の機構と栽培的対策. 農業気象 35: 251-261.
- 75) 佐竹徹夫 1981. 北海道における昭和55年水稻冷害の実態と技術的要因. 農業技術 36: 193-199.
- 76) 佐藤 庚・朴 慶培 1981. 水稻幼植物の低温障害に関する研究. 第1報 Japonica×Indica品種「統一」の低温による苗の生育. 葉色および葉緑体構造の変化. 日作紀 50: 169-175.

- 77) 佐藤 庚・朴 慶培 1981. 水稻幼植物の低温障害に関する研究. 第2報 葉色の低温による変色, 常温による回復と色素組成との関係ならびにその品種間差. 日作紀 50: 401-406.
- 78) 佐藤 庚・朴 慶培 1982. 水稻幼植物の低温障害に関する研究. 第3報 低温による葉身葉緑体の微細構造の変化とその品種間差異. 日作紀 51: 205-214.
- 79) 佐藤 庚・朴 慶培 1982. 水稻幼植物の低温障害に関する研究. 第4報 葉身水抽出液の電導度と無機成分含量に及ぼす低温処理の影響およびその品種間差異. 日作紀 51: 215-220.
- 80) 沢村 浩・相見 豊三 1959. 作物体の一部を冷したり温めたりするための簡易な装置. 農及園 34: 687-688.
- 81) 柴田和博・佐々木一男・島崎佳郎 1970. 時期別の気温・水温処理が水稻の生育に及ぼす影響. 第1報 昼夜別気温・水温および処理日数と不稔歩合との関係. 日作紀 39: 401-408.
- 82) 志賀一一 1976. 水稻生育に対する地力窒素の役割. 北農 43(1): 18-31.
- 83) 志賀一一 1977. 北海道における水田施肥について. 北農 43(11): 1-34.
- 84) 島崎佳郎・佐竹徹夫・渡辺潔・伊藤延男 1964. 穂孕期の昼夜温ならびに遮光処理が不稔粒発生におよぼす影響(水稻冷害の解析的研究 IV). 北海道農業試験場1報 83: 10-16.
- 85) 城下 強・石井企救男・金子淳一・北島 知 1962. 施肥効果の増進による水稻の高位生産に関する研究. 農事試験場研究報告 1: 47-108.

- 86) 高村泰雄・竹内史郎・長谷川浩 1961. 土壤温度が作物の生育に及ぼす影響. 第3報 水稻の出葉速度と土壤温度との関係. 第8報 水稻体の部位温度と出葉速度との関係. 日作紀 29: 195-198.
- 87) 武田友四郎・丸田 宏 1955. 作物の瓦斯代謝作用に関する研究. 第3報 照度並びに苗立密度が稲苗の光合成に及ぼす影響. 日作紀 24: 34-40.
- 88) 田中 稔 1962. 水稻の冷水並びに出穂遅延障害に関する研究. 青森県農業試験場研究報告. 7: 1-107.
- 89) 田中 稔 1976. 12年目の水稻冷害に想う. 農業技術 31: 548.
- 90) 田中 稔 1977. 冷害の元凶は現在の栽培技術か. 日本科学者会議第4回全国農学シンポジウム講演要旨. P. 1.
- 91) 田中孝幸 1972. 水稻の光-同化曲線に関する作物学的研究 — 特に受光態勢制御との関係 —. 農技研報 A 19: 1-98.
- 92) 丹野文雄・武田敏昭・鈴木平喜 1981. 葉色による水稻の栄養診断と生育予測について. 東北農業研究 29: 7-8.
- 93) 茅野充男 1977. 植物の栄養診断. 植物の化学調節 12: 90-94.
- 94) 鳥山国土 1962. 水稻品種の耐冷性検定方法並びに耐冷性の遺伝に関する研究. 青森県農業試験場研究報告. 7: 109-153.
- 95) 鳥山国土・坂本敏・岩下友記・徐 進生 1969. 異なる緯度で栽培した日本稲の出穂性について. 中国農業試験場報告. A 17: 1-16.
- 96) 坪井八十二・根本順吉編 1977. 異常気象と農業. 朝倉書店, 東京.
- 97) 角田公正 1964. 水温と稲の生育. 収量との関係に関する実験的研究. 農技研報 A 11: 75-174.

- 98) 角田公正・和田純二・佐藤亮一 1966. 水稻冷害の実際的研究. 第22報 低温による出穂遅延度の品種間差異とその機構 (1). 日作紀 34: 399-402.
- 99) 上野正夫・斎藤昭四郎・小南 力・斎藤正志・渡辺和夫・鈴木 正 1978. 水稻に対する有機物および土壌改良資材の施用効果. 山形県立農業試験場研究報告 12: 57-86.
- 100) 和田栄太郎 1952. 稻の感温性及び感光性に関する研究. 第1報 日本における水稻品種の感温性及び感光性とその地理的分布について. 育種 2: 55-62.
- 101) 和田栄太郎・野島数馬 1954. 稻の感温性及び感光性に関する研究. 第3報 播種期による出穂期移動について. 育種 3: 27-35.
- 102) WALSH, L. M. and J. D. BEATON 1973. Soil testing and plant analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Inc., Madison.
- 103) 瘦部忠世・森脇 勉 1981. 堆肥連用水田における窒素の動態に関する研究 —自然農法研究記念論文集—. 環境科学総合研究所, 京都. 193—197.
- 104) 山田一郎 1966. 稻花粉の人工発芽ならびに発芽生理に関する研究. 京都大学学位論文.
- 105) 山田 登・太田保夫・中村 拓 1961.  $\alpha$ -ナフチルアミンによる水稻根の活力診断. 農及園 36: 1983-1985.
- 106) 山田記正・河野恭広 1976. 水稻花粉の発育生理学的研究. 第2報 花粉の発育とアミノ酸代謝. 日作記 45: 1-8.

- 107) 山田記正・河野恭広 1976. 水稻花粉の發育生理学的研究. 第3報 減数分裂期の窒素過剰追肥が花粉の發育とアミノ酸代謝におよぼす影響. 日作紀 45: 279-287.
- 108) 山本隆一・久保田田鶴子・大内邦夫・浜村邦夫 1982. 水稻耐冷性と溢液量との關係. 日本育種学会・日作北海道談話会報 22: 16.
- 109) 山下鏡一 1978. 水田における有機物の効果と問題点. 土肥誌 49 特別号: 52-60.
- 110) 山崎耕宇 1964. 水稻の葉の形態形成に関する研究. II 葉の形態形成を解明するニ、三の実験. 日作紀 32: 237-242.
- 111) 葭田隆治・折谷隆夫 1974. 根腐れ稻葉身の蛋白合成におよぼすサイトカイニン処理の影響について. 日作紀 43 (別号2): 115-116.

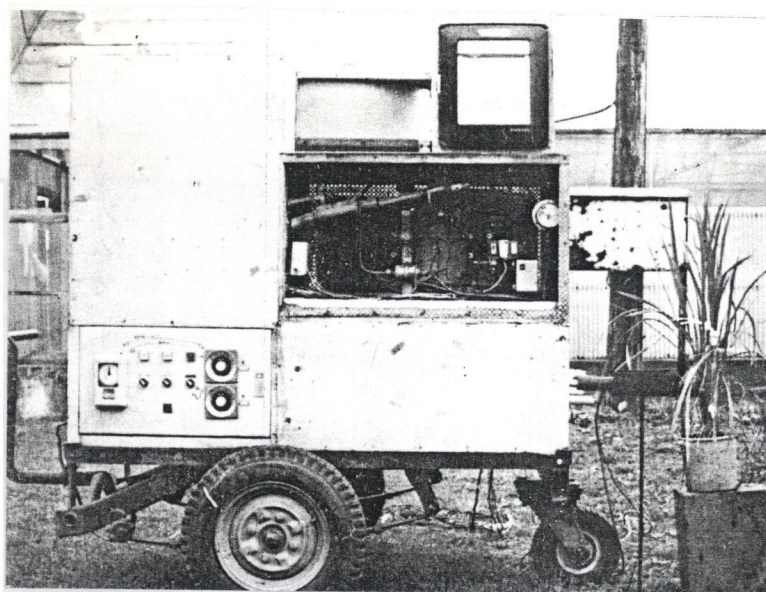


写真1 穂と含む葉鞘部を冷却する装置



写真2 冷水灌漑装置



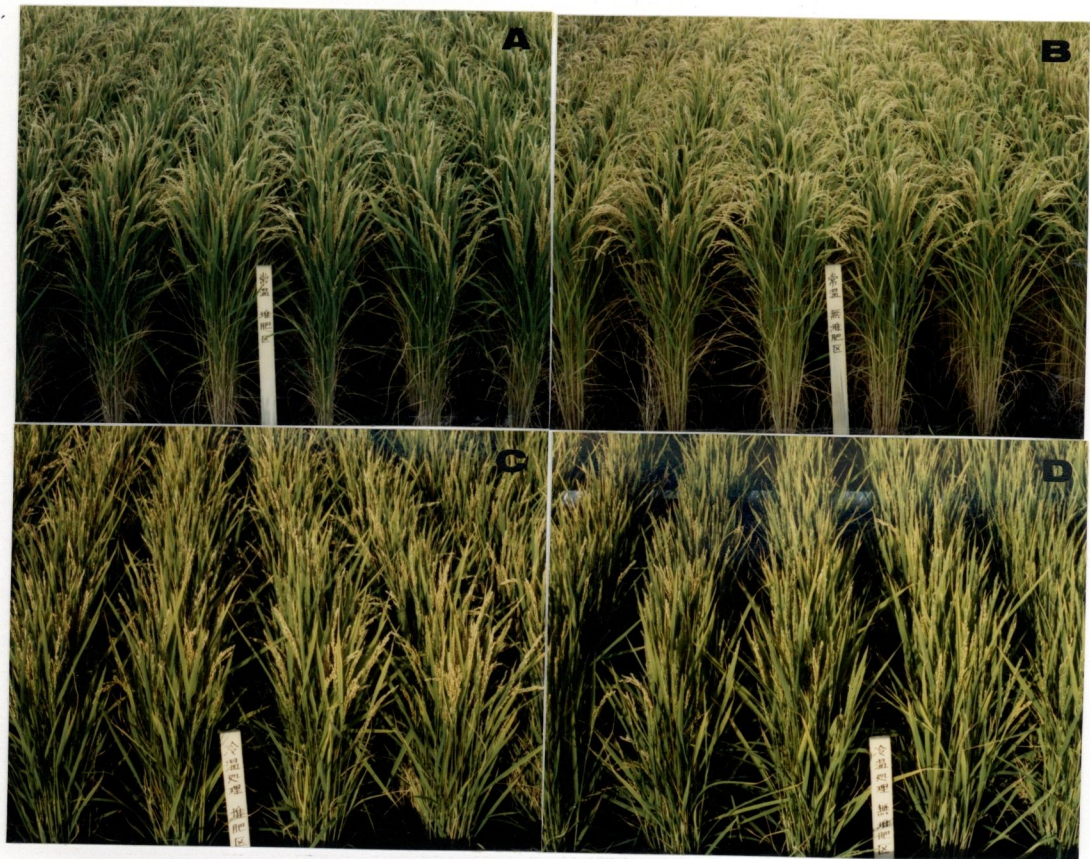


写真3. 成熟期における堆肥区および無堆肥区の水稲 (1981)

- 注) A: 常温堆肥区      B: 常温無堆肥区  
 C: 冷温処理堆肥区    D: 冷温処理無堆肥区  
 品種: キタヒカリ





写真 4 よく分枝した堆肥区の根 (1981)

注) 矢印 : 4 次根